



Zlepšení konstrukce 3D tiskárny NR802

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T049 – Výrobní systémy a procesy

Autor práce: **Bc. Zbyněk Jersák**
Vedoucí práce: Ing. Petr Keller, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

Master thesis

Study programme: N2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301T049 – Manufacturing Systems

Author: **Bc. Zbyněk Jersák**
Supervisor: Ing. Petr Keller, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Zbyněk Jersák**
Osobní číslo: **S16000305**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní systémy a procesy**
Název tématu: **Zlepšení konstrukce 3D tiskárny NR802**
Zadávací katedra: **Katedra výrobních systémů a automatizace**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je provést rozbor stávajícího stavu konstrukce 3D tiskárny NR802 technologie FFF, nalézt slabá místa a navrhnout jejich úpravu pro dosažení co nejkvalitnějších výsledků tisku.

1. Seznamte se s konstrukcí 3D tiskárny NR802 technologie FFF, proveďte zkušební tisk s cílem odhalit slabá místa konstrukce této tiskárny.
2. Na základě tohoto rozboru navrhnete konstrukční úpravy tiskárny s cílem zvýšit tuhost a životnost konstrukce a vlastní kvalitu tiskárny a tisku.
3. Realizujte navržené konstrukční úpravy a proveďte testování 3D tiskárny.
4. Srovnajte původní stav 3D tiskárny a stav s provedenými úpravami s ohledem na kvalitu výtisku vhodně zvoleného modelu a proveďte zhodnocení.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 55 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] ŠÁFR, J. Návrh 3D tiskárny technologie FDM. Liberec, 2016. Diplomová práce. TU v Liberci. Vedoucí práce Ing. Petr Keller, Ph.D.
[2] ŠOLCOVÁ, Z. Optimalizace 3D tiskárny. Liberec, 2017. Diplomová práce. TU v Liberci. Vedoucí práce Ing. Petr Keller, Ph.D.
[3] REPRAP. RepRap Forums :: Czech RUG [online]. 2015 [cit. 2015-09-25]. Dostupné z: <http://forums.reprap.org/index.php> 321
[4] REBEL 3D. Diskuse o 3D tiskárnách Rebel, RepRap atp. [online]. 2014. [cit. 2015-09-25]. Dostupné z: <http://www.rebelove.org/>
[5] STRATASYS LTD. Professional 3D Printing. [online]. 2015 [cit. 2015-09-25]. Dostupné z: <http://www.stratasys.com/>

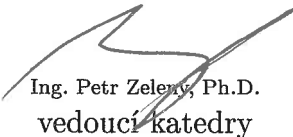
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Keller, Ph.D.**
Katedra výrobních systémů a automatizace

Datum zadání diplomové práce: **15. listopadu 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2019**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Petr Zelenský, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 15. listopadu 2017

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Rád bych upřímně poděkoval svému vedoucímu Ing. Petru Kellerovi Ph.D za vedení této diplomové práce, cenné rady, doporučení a věcné připomínky. Chtěl bych také poděkovat Ing. Kamilu Hübnerovi za dodání materiálu na výrobu dílů.



Abstrakt

Cílem této diplomové práce je vylepšení 3D tiskárny čínské výroby NR802, která používá k tisku technologii FFF(FDM). Jedná se o odstranění výrobních chyb (nekvality), ale také o optimalizaci použitých konstrukčních řešení. V první části diplomové práce je provedená recenze původní tiskárny, ve které jsou popsána problematická místa konstrukce a dílenského zpracování. V dalších částech práce jsou popsány návrhy na eliminaci nalezených problémů a jejich implementace do původní konstrukce tiskárny.

Klíčová slova

3D tiskárna, technologie FFF, optimalizace konstrukce

Abstract

The aim of this diploma thesis is to improve the 3D printer of Chinese production NR802, which uses FFF (FDM) technology for printing. This is the removal of manufacturing errors, but also the optimization of used design solutions. The first part of the diploma thesis is a review of the original printer, which describes the problem areas of construction and workshop processing. In the next parts of the thesis are described proposals for elimination of problems found and their implementation into the original design of the printer.

Keywords

3D printer, FFF technology, design optimization.



Obsah

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Úvod..... | 13 |
| 1.1 | Cíl této práce..... | 13 |
| 2 | Recenze tiskárny NR802 | 14 |
| 2.1 | Výběr a pořízení 3D tiskárny | 14 |
| 2.2 | Obsah balení a cena stavebnice 3D tiskárny NR802..... | 16 |
| 2.3 | Sestavení tiskárny..... | 18 |
| 2.4 | Provoz tiskárny..... | 22 |
| 2.4.1 | Zkušební tisk..... | 22 |
| 2.4.2 | Test dvoubarevného tisku | 23 |
| 2.4.3 | Poruchy a vady konstrukce..... | 23 |
| 2.4.4 | Shrnutí testů..... | 24 |
| 3 | Praktická část | 25 |
| 3.1 | Konstrukční úpravy tiskárny NR802..... | 25 |
| 3.2 | Priorita a potenciál jednotlivých úprav..... | 25 |
| 3.2.1 | Úpravy s vysokou prioritou | 26 |
| 3.2.2 | Úpravy se střední prioritou | 30 |
| 3.2.3 | Úpravy s nízkou prioritou..... | 48 |
| 3.3 | Zkušební testování provedených úprav | 54 |
| 4 | Závěr | 58 |
| | Přílohy..... | 62 |
| A | 3D CAD modely Upravené tiskárny..... | 62 |
| B | Fotografie původní Tiskárny NR802 Fotografie ze stavby upravené tiskárny..... | 62 |
| C | Fotografie zkušebních výtisků..... | 62 |



Seznam obrázků

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 2.1: 3D tiskárna Průša 3i. [1]..... | 14 |
| Obr. 2.2: 3D tiskárna NR802 [4] | 15 |
| Obr. 2.3: Balení a obsah tiskárna NR802. | 17 |
| Obr. 2.4: Vodící kladky řemenu os X, Y | 19 |
| Obr. 2.5: Osa X. Y | 20 |
| Obr. 2.6: Extruder | 20 |
| Obr. 2.7: Sestavená osa Z | 21 |
| Obr. 2.8: Sestavená tiskárna NR802..... | 24 |
| Obr. 3.1: Hotend: a) původní b) upravený..... | 28 |
| Obr. 3.2: Uložení osy Z: a)původní b)upravené | 29 |
| Obr. 3.3: Vozík osy XY a) původní b) nový | 30 |
| Obr. 3.4: Původní napájecí zdroj | 32 |
| Obr. 3.5: Nový napájecí zdroj..... | 33 |
| Obr. 3.6: Těleso extruderu | 34 |
| Obr. 3.7: Nový extruder..... | 35 |
| Obr. 3.8: Vodící tyč osy Y a)původní b) upravené..... | 38 |
| Obr. 3.9: Domky kladek a řemenic s uchycením vodících tyčí osy Y | 38 |
| Obr. 3.10: Původní umístění motoru | 39 |
| Obr. 3.11: Domky řemenic a kladek..... | 39 |
| Obr. 3.12: Motor X, Y | 40 |
| Obr. 3.13: Pohon os X, Y | 41 |
| Obr. 3.14: Původní osa Z..... | 42 |
| Obr. 3.15: Vnitřní rám stolu osa Z..... | 43 |
| Obr. 3.16: Segmenty stolu | 44 |
| Obr. 3.17: Uložení šroubů s vedením stolu | 45 |
| Obr. 3.18: Pohon osy Z..... | 46 |
| Obr. 3.19: Krytování komory | 47 |
| Obr. 3.20: Uložení tiskové desky | 49 |
| Obr. 3.21: Původní uložení kladek | 49 |
| Obr. 3.22: Upravené uložení kladek | 50 |
| Obr. 3.23: Původní podavač filamentu | 52 |



| | |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 3.24: Podavač filamentu | 53 |
| Obr. 3.25: Krokové motory podavače filamentu | 53 |
| Obr. 3.26: Nové umístění E-BOXU | 54 |
| Obr. 3.27: Testovací objekty vytištěné před úpravou osy Z..... | 55 |
| Obr. 3.28: Testovací objekty vytištěné po úpravě osy Z | 56 |
| Obr. 3.29: Nepovedený tisk výztuhy | 57 |
| Obr. 4.1: 3D model upravené tiskárny..... | 58 |
| Obr. 4.2: Zkušební tisk a) před úpravou b) po úpravě..... | 59 |
| Obr. 4.3: Zkušební tisk a) před úpravou b) po úpravě..... | 59 |
| Obr. 4.4: Rozpracovaná nová tiskárna..... | 60 |



Seznam tabulek

| | |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1: Prusa vs. NR802 | 16 |
| Tab. 2 Priority pro vylepšení | 25 |
| Tab. 3 Metodika hodnocení potenciálních přínosů | 26 |
| Tab. 4 Potenciální přínos úprav s vysokou prioritou | 27 |
| Tab. 5 Potencionální přínosy úprav se střední prioritou | 31 |
| Tab. 6 Odběr proudu tiskárny | 32 |
| Tab. 7 Parametry napájecího zdroje | 33 |
| Tab. 8 Potencionální přínosy úprav s nízkou prioritou | 48 |



Seznam použitých zkratk

| | |
|------------|-------------------------------|
| 3D..... | Trojrozměrná dimenze, prostor |
| FFF..... | Fused Filament Fabrication |
| FDM..... | Fused Deposition Modeling |
| Kč..... | Korun Českých |
| DP..... | Diplomová práce |
| PMMA..... | polymethylmetakrylát |
| PC..... | Osobní počítač |
| ABS..... | Akrylonitrilbutadienstyren |
| PLA..... | Polymléčná kyselina |
| PET-G..... | Polyetylen tereftalat glykol |



1 Úvod

V současné době klasické výrobní technologie dosahují svého vrcholu. Proto jsou vyvíjeny nové technologie, které posunují technologické možnosti výroby dále do budoucna. Mezi tyto technologie patří aditivní technologie tzv. 3D tisk. Pomocí aditivních technologií, je možno vyrábět součásti, které klasická technologie třískového obrábění nezvládne. Výhody 3D tisku jsou nesporné. Možnost skladovat materiál v podobě strun, prášku, kapaliny je velmi výhodné. Šetří skladovací prostor, eliminuje výrobu různých druhů polotovarů. Možnost okamžitě vytvořit výrobek, součást, kterou člověk právě vyprojektoval a nemuset čekat, než se vyrobí klasickou technologií, otevírá nové možnosti pro všechny. 3D tisk umožňuje vyrábět duté uzavřené součásti, součásti v součásti, části lidského těla např. kosti nebo dnes již celé stroje, přístroje, aniž bychom použily spojovací součásti. 3D tisk je také výhodný pro vědecké mise, kdy potřebujeme vyrobit součást v odlehlém území bez dosahu technologií, pro výpravy do kosmu, kde mohou roboti nebo lidé pomocí 3D tisku vyrobit náhradní díly nebo dokonce celé nové stroje. Současnou nevýhodou 3D tisku je cena takto vyrobených součástí a poměrně dlouhý čas při tisku součástí. Dále nedostupnost určitých technologií tisku pro širší veřejnost např. tisku kovů, tisku z fotopolymeru, nebo tisku z plastových prášků. Naproti tomu technologie FFF tisk pomocí plastových strun, tzv. filamentu, je již široce dostupný díky RepRap a DIY komunitě pro amatéry i profesionály a cena tiskáren je již poměrně nízká. Cena tiskáren systému FFF klesla hlavně díky vypršení patentů technologie FDM v roce 2003 a levné výrobě komponent v Asii především v Číně, kde RepRap komunita nakupuje součásti právě pro výrobu tiskáren. Tento fakt mě inspiroval k nákupu stavebnice 3D tiskárny systému FFF na čínském obchodním portálu, konkrétně tiskárny s názvem NR802. Zkušenosti s pořízením, stavbou, provozem a úpravami konstrukce této tiskárny popisují v této diplomové práci.

1.1 Cíl této práce

V této diplomové práci jsem si dal za cíl zlepšit stávající konstrukci 3D tiskárny NR802, najít slabá místa této tiskárny. Co nejvíce těchto úprav aplikovat. Poté aplikované úpravy otestovat a posoudit zda tyto úpravy splnily potenciál, který jsem od nich očekával.



2 Recenze tiskárny NR802

V této části se nachází popis původní 3D tiskárny NR802. Její pořízení, sestavení a provoz. Popis jejích výhod, nevýhod, vad a problémů.

2.1 Výběr a pořízení 3D tiskárny

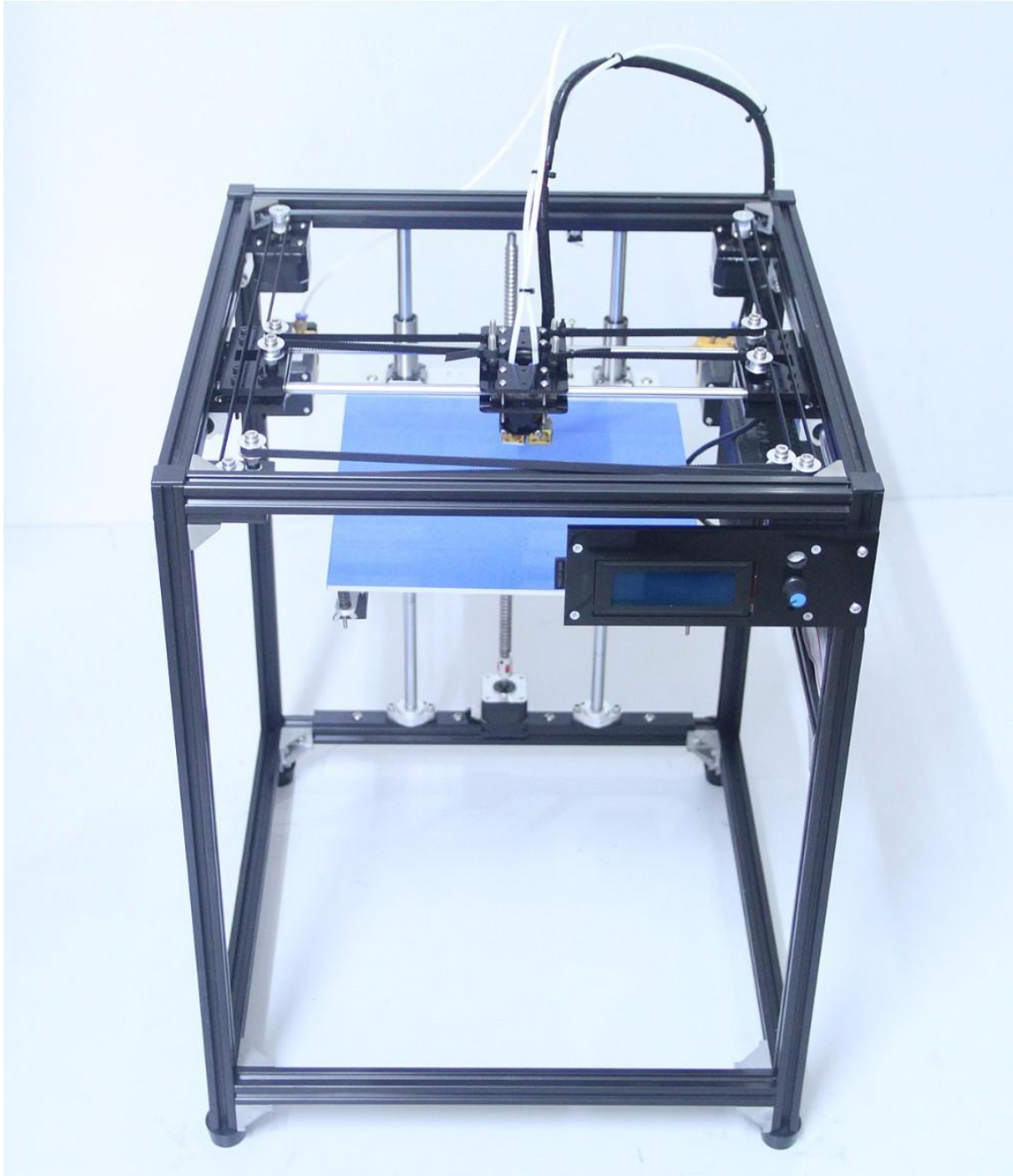
O pořízení 3D tiskárny jsem uvažoval již několik let, ale cenově byly pro mě stále nedostupné. Mé rozhodnutí o nákupu padlo při přednášce předmětu **3D digitalizace a Rapid Prototyping**, kde přednášející předvedl praktickou ukázkou tiskárny Průša 3i (viz **Obr. 2.1**).



Obr. 2.1: 3D tiskárna Průša 3i. [1]

Po prostudování nabídky stavebnic tiskáren, jsem se rozhodl tiskárnu zakoupit na Čínském obchodním portálu. Tento portál nabízí širokou nabídku stavebnic různých konstrukcí včetně konstrukce Josefa Průši. Při výběru typu tiskárny jsem se poradil s vedoucím mé diplomové práce Ing. Petrem Kellerem Ph.D. Vybrali jsme tiskárnu NR802. Hlavním důvodem pro výběr této tiskárny byla odlišná koncepce oproti tiskárně Průša 3i, duální extruder s bowdeny a konstrukce pohonu os CORE X, Y[11], kterou používají profesionální tiskárny. (viz **Obr. 2.2**).





Obr. 2.2: 3D tiskárna NR802 [4]

Porovnání tiskáren (viz **Tab. 1**) Technické údaje k Tiskárně Prusa MK2S jsou dostupné na[1]. Technické údaje NR802 dostupné online [4]. Parametry tiskáren jsou si dost podobné. Přesto každá z konstrukcí nabízí něco vyjímavného.



Tab. 1: Prusa vs. NR802

| Porovnání parametrů dostupných 3D tiskáren | | |
|---------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Typ | Prusa i3 MK2S | NR802 |
| Cena na trhu | 15900 Kč kit | 12000 Kč kit |
| Rozměr tiskového prostoru | 250x210x200 | 320x260x218 |
| Počet extrudérů | 1 | 2 |
| Počet motorů | 5 | 5 |
| Příkon zdroje | 240W | 120W |
| Vedení os | Kluzné | Kuličkové |
| Pohon os | Řemen (XY)/šroub (Z) | Řemen (XY)/šroub (Z) |
| Typ šroubů | Trapézový | Kuličkový |
| Typ podložky | Vyhřívaná (12V) | Vyhřívaná (220V) |
| Kalibrace podložky | Automatická | Manuální |
| Komora | Otevřená | Otevřená |
| Typ rámu | Portálový | Příhradový |
| Profil rámu průřez | 30x30 mm | 20x20 mm |
| Řídící deska | RAMBo 1.3 | Arduino mega 2560/ RAMPs 1.4 |
| Váha | 6.5 kg | 12 kg |

2.2 Obsah balení a cena stavebnice 3D tiskárny NR802

Tiskárna přišla cca čtyři týdny od zakoupení zabalená v pevné kartonové krabici o hmotnosti cca 14 kg (viz **Obr. 2.3**).





Obr. 2.3:Balení a obsah tiskárna NR802.

Krabice obsahuje vše potřebné ke stavbě a SD paměťovou kartu s instrukcemi potřebnými k sestavení tiskárny, firmwarem marlin, ovládacím softwarem a dalšími informacemi. Bohužel nikde není kusovník, což znemožňuje kontrolu kompletnosti dodávky. To zda je v dodávce vše potřebné se zjistí až po sestavení tiskárny. Krabice obsahuje od hliníkových stavebnicových profilů přes řídicí elektroniku Arduino MEGA 2560 s deskou RAMP1.4, krokové motory, kuličková vedení, díly z PMMA až po spojovací materiál. Vše je zabaleno v plastových sáčcích a kartonových krabičkách. Opět absence jakéhokoliv označení pro usnadnění sestavení. Obrazové instrukce k sestavení také neobsahují popis součástí ani počet kusů k sestavení daného celku. Nikde jsem také nenašel návod k použití již sestavené tiskárny. Tyto nedostatky mohou znesnadňovat sestavení a provoz tiskárny. Většina dílů, alespoň v mé dodávce bylo v dobré kvalitě. Cena dodávky až ke dveřím byla v přepočtu 12000 Kč. Samotná tiskárna stála včetně poštovního 378\$. Clo + DPH včetně celní deklarace bylo 2000kč. Konkurenční tiskárna Rebel MKIIS je v současné době nabízena za cenu 15900kč. Ceny čínských stavebnic klesly v současnosti k hranici 6000Kč.

Shrnutí hodnocení tiskárny NR802.

Plusy:

- **Cena pořízení**
- **Vizuálně dobře zpracované díly stavebnice.**
- **Zajímavá konstrukce**



- Oproti konkurenci použití kuličkových šroubů a kuličkových vedení
- Duální extruder s bowdeny
- Příhradový rám

Mínusy:

- Absence kusovníku
- Nečíslované díly
- Špatně zpracovaný návod k sestavení
- Absence instrukcí pro použití již sestavené tiskárny
- Manuální kalibrace

2.3 Sestavení tiskárny

Sestavení tiskárny lze rozdělit do několika fází. Samotný návod obsahuje několik bodů sestavení, podle kterých lze postupovat. Podle výrobce je těchto bodů šest. Zároveň v této kapitole popíšu kvalitu jednotlivých dílů po bližším prozkoumání a problémy při sestavování.

Body sestavení:

1. Sestavení rámu spodní část
2. Sestavení rámu vrchní část
3. Sestavení vozíku os X, Y a hotendu
4. Sestavení extrudérů
5. Sestavení osy Z
6. Sestavení a zapojení řídicí elektroniky

Čistý čas, který jsem potřeboval k sestavení, je cca 8 hodin. Čas potřebný od prvního spuštění k úspěšnému výtisku byl cca 3 hodiny.



Sestavení spodní části

Spodní část se sestává z osmi kusů konstrukčních profilů 20x20 mm. Profily obsažené ve stavebnici jsou velmi dobré kvality povrchově upraveny černým eloxováním. Profily jsou spojeny hliníkovými úhelníky a zásuvnými T-maticemi.

Sestavení horní části

Horní část je sestavena opět z konstrukčního profilu spojeného úhelníky. Zároveň jsou v ní namontovány držáky krokových motorů a kladek ozubeného řemenu, který tvoří pohon os X, Y. Držáky jsou vystřiženy z polyakrylátové desky černé barvy tloušťky 6 mm. Do sestaveného vrchního rámu, se namontují krokové motory a kladky pohonu os X, Y u mé stavebnice jsou použity motory NEMA17HS1352 s krouticím momentem 1.6Ncm. Jako čep kladek je použit pouze šroub M5, který má závit po celé délce a v kladce jsou obě ložiska identická. Průměr vnitřního kroužku ložisek je 5mm. Tím není možné kladky stáhnout a zároveň šroub není lícován do kroužku ložiska. Ve výsledku, aby se kladky točily, musí se nechat značná axiální vůle mezi kladkou a hlavou šroubu. Toto způsobuje, že řemen se při běhu má tendenci opírat o osazení kladky (viz **Obr. 2.4**).



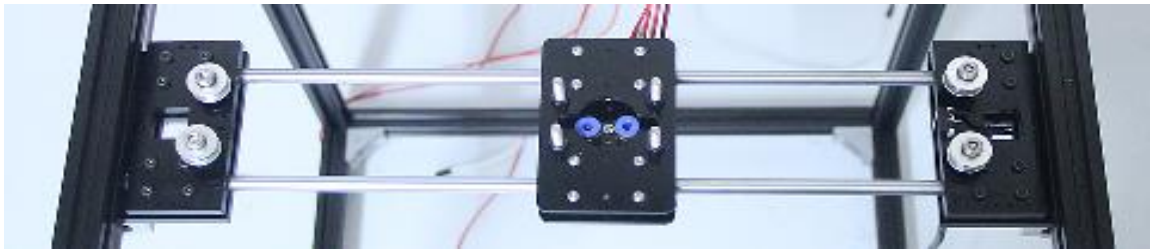
Obr. 2.4: Vodící kladky řemenu os X, Y

Sestavení vozíku os X, Y a extruderu

Vedení osy Y, tvoří broušené tyče o průměru 8mm, které jsou přichycené do rámu pomocí hliníkových držáků, dále čtyři kusy kuličkových pouzder v hliníkových domečcích a desky vystřižené z PMMA. Držáky vodících tyčí a vodící pouzdra vystupují vně tiskárny. Vodící tyče jsou stejné jako v případě osy Y, taktéž vodící kladky. Vodící kuličková pouzdra jsou válcová. Vodící tyče osy X a Y se kotví mezi dvě PMMA desky. Toto řešení je sice jednoduché, ale šrouby, kterými jsou desky

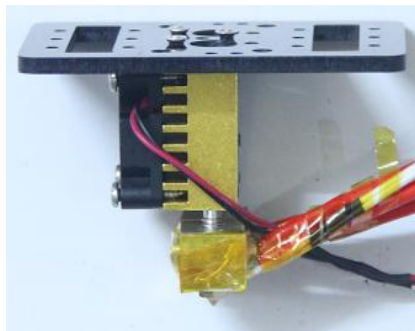


PMMA staženy kolem vodících tyčí, vytvářejí nepříznivé ohybové napětí na desku PMMA u které hrozí prasknutí. Uchytení vodících tyčí osy X do osy Y (viz **Obr. 2.5**).



Obr. 2.5:Osa X. Y

Vozík extruderu je složený ze dvou desek z PMMA, mezi které jsou sevřena vodící pouzdra. Ve spodní desce jsou pro pouzdra vystřiženy dva obdélníkové otvory, do kterých pouzdra zapadnou a poté se stáhnou horní deskou. Samotný extruder je tvořen hliníkovým chladičem ve tvaru hranolu. V chladiči jsou dva otvory. Na horní straně mají otvory závity, do kterých se šroubují rychlospojky pro zasunutí obou bowdenů. Ve spodní části, jsou otvory hladké bez závitů. Vodící trubka hotendu je hladká, na konci opatřena závitem. Konec hotendu tvoří hliníkový hranol s otvorem na topné těleso a otvor se závitem pro uchycení trysky a trubky hotendu. Výrobce dodává k tiskárně dvě sady trysek s průměrem 0.4 mm a 0.5 mm. Pro regulaci teploty jsou použity termistory 10 k Ω . Extruder (viz **Obr. 2.6**).



Obr. 2.6:Extruder

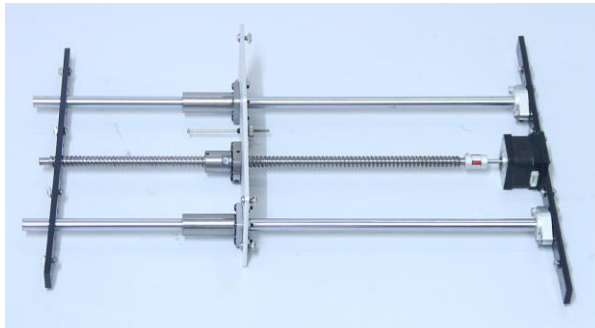
Sestavení podavačů filamentu

Sestavení extruderu je velice jednoduché. Na rámu drží pomocí plastového držáku vystřiženého z desky PMMA. Přítlačná kladka má po obvodě drážku s radiusem. Podávací kolečko je pastorek s přímým ozubením. Druhou část extruderu tvoří hotend, který je s podavačem filamentu propojen teflonovou hadicí.



Sestavení osy Z

Konstrukce osy Z se skládá ze dvou vodících tyčí o průměru 12mm, vodících pouzder s čelní přírubou a kuličkového šroubu 16/5 mm. Stůl na ose je uložen jako visutý. Je z hliníkového plechu 265x265 mm tloušťky 4 mm. Dolní strana vodících tyčí je uložena v hliníkových držácích přišroubovaných na spodní část rámu, pod držáky je chycen ještě držák motoru osy Z z desky PMMA. Kuličkový šroub drží ve spodní části pomocí válcové spojky přímo na motoru osy Z a již není nijak uložen. Vodící tyče šroub i držáky vystupují částečně vně rámu. Toto řešení není ideální, protože celá váha osy Z včetně tisknutého modelu, namáhá hřídel krokového motoru osy Z. Vrchní část vodících tyčí je uložena pouze v desce z PMMA, ve které jsou vystřiženy otvory pro tyče a šroub. Tyto otvory mají značnou vůli, tak tato deska slouží spíše k tomu, aby se osa Z příliš nevyklonila z rámu. Stůl je uložen klasicky pomocí tlačných pružin a tří šroubů, které seřizují pomocí křídlových matic výšku stolu. Vyhřívání stolu zajišťuje silikonová vyhřívaná samolepící folie od firmy 3M. Napájení je 220V. Díky uložení horní části pouze v desce z PMMA je ve směrech X, Y značný výkyv stolu. Kompletní osa Z (viz **Obr. 2.7**).



Obr. 2.7:Sestavená osa Z

Sestavení a zapojení řídicí elektroniky

Řídicí elektronika je použita od firmy Arduino. Jako základní řídicí deska je použita MEGA 2560. Napájecí deska je pak použita RAMPs 1.4 s konektory a driverů pro krokové motory. Driverů krokových motorů jsou šestnáctibitové. Display je čtyřřádkový. Pro napájení je dodán síťový zdroj 12V 10A. Vše je zabudováno do skříně, která je složena s deskou vystřižených z PMMA. Sestavení je poměrně pracné a vyžaduje zručnost. Display je umístěn na desce z PMMA v pravém horním rohu tiskárny.



2.4 Provoz tiskárny

Po sestavení stačí tiskárnu jen oživit. K tomu výrobce dodal software, firmware a strohý návod jak nastavit Repetier host pro NR802. Firmware je od výrobce Marlin. Ovládací software je možné si vybrat od tří výrobců Repetier, Slic3D a Simplify3D.

První spuštění

Nastavení software je otázkou pár minut. Po nastavení tiskárna okamžitě komunikuje se software, během této operace se nevyskytl žádný problém. Manuální ovládání také pracuje bez problému.

2.4.1 Zkušební tisk

Pro první zkušební tisk jsem zvolil jednoduchý znak. Materiál jsem pro první tisk použil zkušební vzorek filamentu PLA přiloženého v balení tiskárny. Jako tiskovou podložku výrobce doporučuje kaptonovou pásku přímo nalepenou na hliníkový stůl. Při testech byla jako tisková podložka použita deska skla o rozměrech 230x230 mm, protože stůl má sice rozměry 265x265 mm, ale seřizovací šrouby stolu vystupují nad jeho povrch, proto musí být deska menší. Rozsah pojezdů os X, Y je 240x240 mm ale použitelný rozsah je jen 195/200 mm protože stůl je umístěn asymetricky vůči ose X, Y. Tloušťka skleněné desky je 2 mm a jako adhezivní vrstva byl použit extra tužící lak na vlasy. Použití laku doporučuje ČVUT Praha. Po spuštění tisku se po pár vrstvách ucpal hotend. Po demontáži bylo zjištěno, že na sebe nelícuji otvory v trysce a vodící trubce. V průběhu tisku občas proskakoval podavač filamentu. Pro další zkoušky byl použit filament z ABS a spuštěn tisk. Oba dva hotendy se ihned ucpaly. Po demontáži hotendů bylo zjištěno, že filament je nad vodící trubkou zdeformovaný do tvaru spirály, což bylo způsobeno tím, že teflonová hadice sloužící jako bowden, nezapadla do vodící trubky, tím zde vznikl volný prostor, bez vedení pro filament. Proto bylo nutné zaměřit se na vnější průměr hadice a díru v trubce. Měření ukázalo na špatné rozměry obou dílů. Trubka měla díru 4,1 mm a hadice 4,2 mm.

Další tiskové testy

Jako první bylo tištěno válcové těleso o průměru 100 mm a výšce 50 mm uvnitř duté. Síla stěny byla 3 mm. Spuštění a tisk první vrstvy proběhlo v pořádku, ale po vytisknutí výtisk projevoval značný rozptyl vrstev. Tento rozptyl způsobilo špatné



uložení vodících tyčí osy Z. Na straně proti vodícím tyčím, stůl zakmitával odhadem až 5 mm.

2.4.2 Test dvoubarevného tisku

Trysky hotendu byly seřizeny na stejnou vzdálenost od desky. Jako zkušební vzorek byla použita figurka dvoubarevné kočky. K dvoubarevnému tisku je potřeba nastavit ofset podél osy Y. Ten byl nastaven na hodnotu naměřené z rozteče děr v chladiči držícím hotendy. Rozteč děr v chladiči je 18 mm. Poté byl již spuštěn tisk. Po spuštění tisku nastaly problémy s vytlačováním materiálu. Vytlačování u bodového systému má větší zpoždění. Proto byla nastavena v software takzvaná pomocná věž, kdy před najetím vždy aktivní hotend vytvoří jednu vrstvu pomocné věže. Zde došlo k problému s ukládáním vláken, která se překrývala. Tento rozdíl je způsoben extrémně velkou vůlí mezi trubicí hotendu a dírou chladiče. Proto byl ofset přibližně nastaven podle naměřené rozteče mezi vrcholy trysek. Tisk se, ale nezdařil, po cca 1/3 času na tisk se ucpal hotend. Důvodem je špatné chlazení hotendů při práci obou současně. Příčinou je příliš velká vůle mezi chladičem a trubicí, kdy dochází k špatnému vedení tepla a trubky a ta se nakonec přehřeje. Na výtisku je vidět, že neaktivní tryska ryje do povrchu výtisku, a vytékající tavenina z neaktivní trysky znečišťuje povrch právě položené vrstvy. Další více komponentní tisky nebyly zkoušeny.

2.4.3 Poruchy a vady konstrukce

Během zkoušek a provozu se vyskytlo několik poruch a vad. Všechny poruchy vyplývají z konstrukce, použitých materiálů a zpracování. Tyto problémy jsou zpracované v tabulce (viz **Tab. 1**)

Tab. 1 Tabulka nedostatků

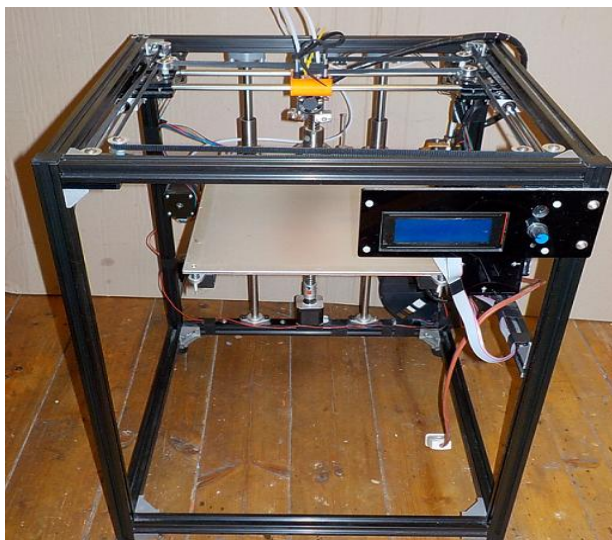
| Vady poruchy během provozu | | |
|----------------------------|--------------------------------------------|------------|
| 1 | Neprůchodný hotend | Zpracování |
| 2 | Chybně uložená vrchní část osy Z | Konstrukce |
| 3 | Chybně uložené kladky osy XY | Konstrukce |
| 4 | Chybně uložený šroub osy Z | Konstrukce |
| 5 | Uvolňující se šrouby desek vozíku osy XY | konstrukce |
| 6 | Popraskaný vozík osy X po 5 hodinách tisku | Materiál |
| 7 | Vadný držák chladič hotendů | Zpracování |



| | | |
|----|----------------------------------------|------------|
| 8 | Špatně seřiditelný stůl | Konstrukce |
| 9 | Neaktivní tryska poškozuje výtisk | Konstrukce |
| 10 | Tavenina vytékající z neaktivní trysky | Konstrukce |
| 11 | Malá tuhost osy Z | Konstrukce |
| 12 | Ventilátor elektroniky ochlazuje stůl | Konstrukce |
| 13 | Proskakující podavače filamentu | Konstrukce |
| 14 | Po 20 hodinách provozu porucha zdroje | Konstrukce |
| 15 | Praskající velké výtisky | Koncepce |

2.4.4 Shrnutí testů

Tiskárna vykazuje řadu nedostatků. Díky otevřené koncepci nelze tisknout větší výtisky z materiálů s velkým smrštěním. Výtisky praskají a značně se krotí. Tuto skutečnost zhoršuje chybně umístěný box s elektronikou. Dále je nutná úprava vozíku os XY. Původní plast použitý na vozík teplem od hotendu degradoval a popraskal. Tisk dvou materiálů najednou není možný kvůli vadnému hotendu. Dále se silně hřeje původní napájecí zdroj, který je dimenzovaný jen na 10A. RepRap Komunita doporučuje zdroj minimálně 16A [7] při použití jednoho extruderu a maximálně při třech krokových motorech. Proto bylo rozhodnuto tiskárnu upravit, aby lépe vyhovovala uživatelským požadavkům a byla funkční. Tyto návrhy a úpravy jsou popsány v praktické části této práce. Sestavená tiskárna v aktuálním stavu (viz **Obr. 2.8**).



Obr. 2.8:Sestavená tiskárna NR802



3 Praktická část

3.1 Konstrukční úpravy tiskárny NR802

Po zkušenostech s 3D tiskárnou NR 802 jsem se rozhodl pro její vylepšení. Úpravy musejí zlepšit její vlastnosti tak, abych ji mohl bez větších omezení používat. Proto jsem se zaměřil na nedostatky, které přímo ovlivňují kvalitu výtisků a volbu jejich materiálů. Jednotlivým vylepšením byla přiřazena priorita podle závažnosti vady. Veškeré úpravy jsou pouze experimentální, nejsou určeny ke komerčnímu využití. V případě podobnosti použitých úprav některému z registrovaných patentových řešení, se jedná o podobnost neúmyslnou, a tato řešení budou použita pouze pro studijní účely. Tyto úpravy jsou popsány v následujícím textu.

3.2 Priorita a potenciál jednotlivých úprav

Protože pro vytvoření součástí použitých pro vylepšení tiskárny, je nutné používat stávající tiskárnu, jako první budou odstraněny vady, které závažně narušují provoz stávající tiskárny a kvalitu výtisků.

Priority úprav

Pořadí úprav podle priority je shrnuto v následující tabulce. (viz **Tab. 1**).

Tab. 2 Priority pro vylepšení

| Priorita úprav nedostatků | | |
|--------------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Vysoká | Střední | Nízká |
| Dobrá funkce alespoň jednoho hotendu | Výměna napájecího zdroje | Umístění boxu elektroniky |
| Vylepšení horního uložení osy Z | Zamezení praskání výtisku | Uložení kladek os XY |
| Vylepšení uložení kuličkového šroubu | Zvýšení tuhosti osy Z | Vylepšení podavače filamentu |
| Úprava vozíku extruderu | Vylepšení extruderu | Vylepšení seřizování stolu |

Vysoká priorita je přidělena úpravám, které jsou potřeba pro nouzový provoz původní tiskárny, protože je potřeba tisknout díly pro budoucí úpravy. Střední prioritu mají úpravy, které podstatně zlepší kvalitu výtisků, možnost tisknout materiály s velkou



smrštivostí a spolehlivost tiskárny. Nízkou prioritu mají úpravy, které předchozí vylepšení doladí, ale nejsou nezbytně nutná.

Potenciální přínosy úprav

Ke všem navrženým úpravám byla přiřazena tabulka, v níž jsou potencionální přínosy jednotlivých úprav pro stávající konstrukci. Metodika hodnocení, co která úprava přináší a jak je udělováno hodnocení, je znázorněno v tabulce (viz **Tab. 3**).

Tab. 3 Metodika hodnocení potenciálních přínosů

| Co úprava zlepšuje? | Typ hodnocení jak úprava zlepšuje | | |
|---------------------|-----------------------------------|----|---------|
| | Ano | Ne | Výrazně |
| Kvalitu tisku | | | |
| Tuhost konstrukce | | | |
| Spolehlivost | | | |
| Bezpečnost provoz | | | |

3.2.1 Úpravy s vysokou prioritou

Úpravy s vysokou prioritou jsou ty, které odstraňují vady a bezprostředně znemožňují provoz stávající tiskárny, alespoň s jednou fungující tryskou. Tyto úpravy budou provedeny na stávající tiskárně.

Seznam těchto úprav:

- Úprava hotendu tak, aby byla funkční alespoň jedna tryska
- Úprava uložení osy Z, odstranění jejího kmitání
- Návrh nového vozíku osy X, Y

Potenciální přínos těchto úprav je v tabulce (viz **Tab. 4**).



Tab. 4 Potenciální přínos úprav s vysokou prioritou

| Potencionální přínos jednotlivých úprav | | | | |
|-----------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Typ úpravy na NR802 | Zlepšení spolehlivosti | Zlepšení kvality tisku | Zlepšení tuhosti konstrukce | Bezpečnost provozu |
| Hotend tryska | Ano | Ano | NE | Ano |
| Uložení osy Z | NE | Ano | Ano | Ano |
| Vozík extruderu | Ano | Ano | Ano | Ano |

Přínos těchto úprav je odhadnut podle zkušeností uživatelů z RepRap komunity. Jejich technická řešení problémů s tiskárnami jsou popsána na různých internetových diskuzích k dané problematice. [2]

Úprava stávajícího hotendu

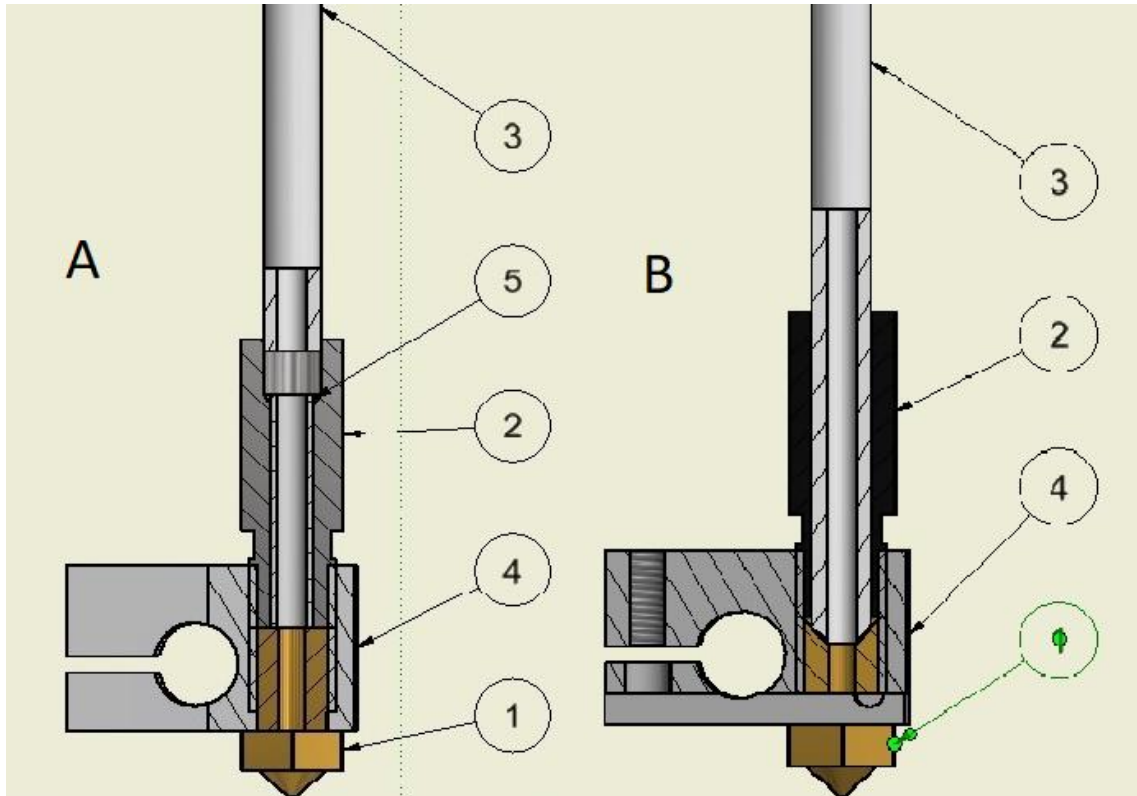
Stávající hotend byl v původní konfiguraci nefunkční. Filament měl tendenci se v hotendu zadržovat a pěchovat. Tento jev způsobovaly tři nedostatky.

Nedostatky hotendu:

- Napojení trysky a vodící trubky má přechodovou hranu bez náběhu[2].
- Vodící trubka je vyvložkována tenkou teflonovou vložkou, tato vložka sklouzává do trysky.
- Použitý bowden z teflonové hadice díky nevhodnému průměru hadice nezapadá do vodící trubky. Tím je vytvořena mezera, ve které se filament pěchuje.

Vylepšení je velice jednoduché. Původní zúžený a vložkovaný průvlak byl nahrazen průvlakem s konstantním průměrem 4.2 mm. V trysce byla sražena hrana vstupního otvoru a původní hadice byla nahrazena hadicí s průměrem 4mm. Původní díl a upravený díl (viz **Obr. 2.1**). Tato úprava eliminovala ostrý přechod mezi trubkou a tryskou. Také eliminovala sklouzávající teflonovou vložku. Dále eliminovala velkou vůli mezi čelem trubky a bowdenem. Nutnost slícování u všech dnes prodávaných hotendů je popisováno na RepRap diskuzích [2].





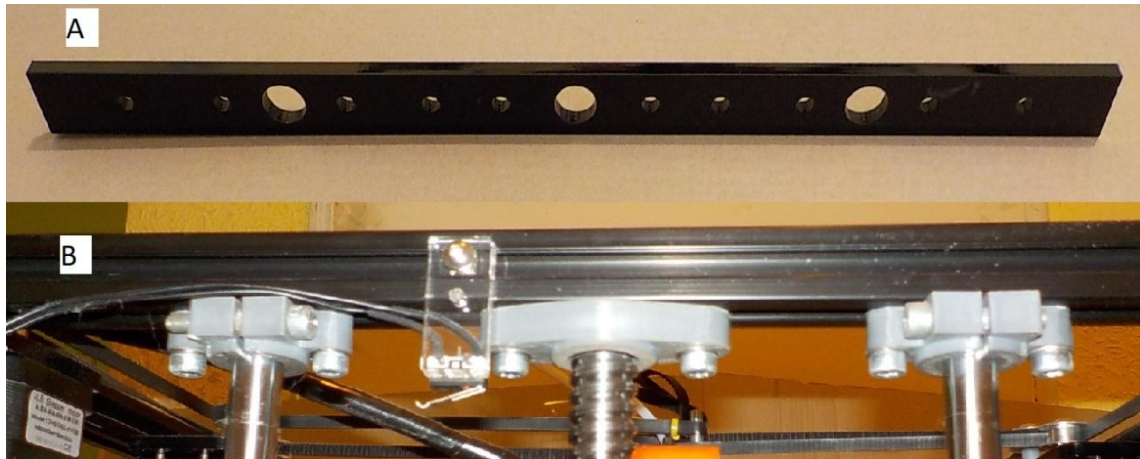
Obr. 3.1: Hotend: a) původní b) upravený

Pozice: (1) tryska (2) průvlak (3) teflonová hadice (4) držák (5) teflonová vložka

Úprava uložení vodících tyčí a kuličkového šroubu osy Z

Původní uložení vodících tyčí a šroubu je provedeno pomocí desky tloušťky 6 mm vystřižnuté z PMMA. Tato deska tyče ani šroub nijak nedrží. Pouze brání, aby se tyče a šroub příliš nekývaly. Toto řešení je absolutně nevyhovující. Vůle v uložení vodících tyčí způsobují nepřesné ukládání vrstev na sebe, protože dochází při vibracích způsobených pohybem os X, Y ke kmitání celého stolu ze strany na stranu. Proto bylo navrženo nové uchycení tyčí, vycházející z konstrukce spodních úchytů a pro kuličkový šroub byl navržen úchyt s kuličkovým ložiskem. Po této úpravě se tyče i šroub přestaly kývat a jednotlivé vrstvy se již ukládají na sebe pouze s malým rozdílem. Přesnost tisku, která je závislá na tuhosti a preciznosti provedení tiskárny se také zlepšila [2]. Původní uchycení tyčí a šroubu a upravené uchycení (viz **Obr. 3.2**). Tyto díly jsou nově vytištěny z plastu ABS.





Obr. 3.2: Uložení osy Z: a) původní b) upravené

Návrh nového vozíku extruderu

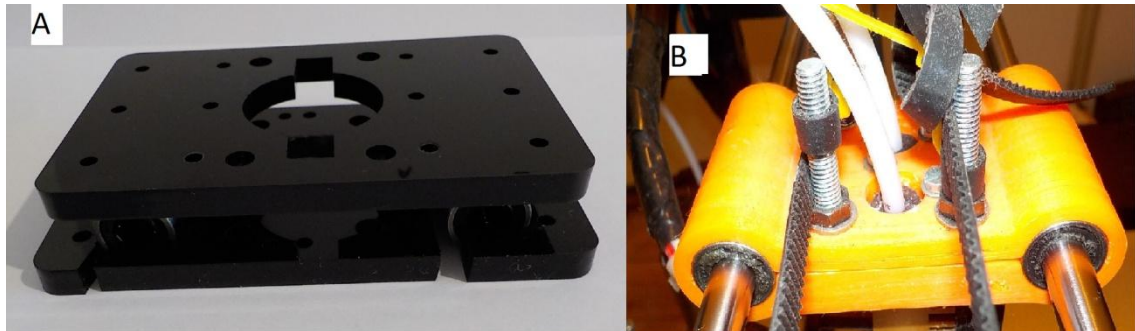
Původní vozík osy XY je vyroben jako výstřižek z PMMA. Skládá se ze dvou částí, mezi kterými jsou staženy pomocí šroubů pouzdra kuličkového vedení osy X. Na jedné z desek je přišroubován i hotend. Toto řešení je sice jednoduché pro výrobu, ale má řadu nedostatků.

Nedostatky vozíku extruderu:

- Neustále povolující se šrouby použité ke stažení desek. Šrouby se povolují vlivem malé tuhosti desek.
- Velký ohybový moment od šroubů na desky (hrozí prasknutí).
- Způsob uchycení vodičích pouzder, pouzdra působí jako klín (hrozí roztržení desky).
- Nevhodný materiál PMMA, který vlivem stoupajícího tepla od hotendu velmi rychle degraduje a křehne.

Tyto čtyři faktory vedly až k destrukci vozíku. Proto bylo navrženo, nové konstrukční řešení vozíku extruderu, z plastu ABS. Držák byl vytištěn na původní 3D tiskárně. Tato úprava funguje bezproblémově a má za sebou cca 5kg spotřebovaného filamentu. Původní vozík a nově navržený vozík z ABS. (viz Obr. 3.3). Na původním vozíku je již viditelné poškození.





Obr. 3.3: Vozík osy XY a) původní b) nový

Tímto byla původní tiskárna dána do stavu, kdy s její pomocí lze vyrábět díly pro nově navržené úpravy stávající konstrukce a není nutné se obávat poruchy, která by znemožnila další použití.

3.2.2 Úpravy se střední prioritou

Nedostatky se střední prioritou jsou takové, které sice nebrání používání tiskárny, ale značně znesnadňují její provoz a kvalitu výtisků, popřípadě omezuje tisk z některých materiálů. Protože původní tiskárna musí zůstat v provozu, bude postaven další prototyp tiskárny s již provedenými vylepšeními.

Předpokládané úpravy:

- Optimalizace napájení tiskárny, které je nedostatečné a při delších časech tisku je původní zdroj přehřátý. Na zdroji jsem pomocí termistoru naměřil teplotu až 55° celsia. Také se již stalo, že poklesl výkon zdroje a tisk byl přerušen nebo se posunula referenční poloha trysky. Přehřívající zdroj může způsobit požár, proto je první v pořadí, jelikož ohrožuje bezpečnost provozu.
- Pro perfektní funkci tiskárny je nutno upravit stávající extruder, který má výrobní vadu. Při provozu dvou trysek se přehřeje. Dále je třeba vyřešit vytékající plast z neaktivní trysky, který znečišťuje a poškozuje výtisk. Také je nutné vyřešit problém neaktivní trysky ryjící do výtisku, kdy tato tryska mnohdy utrhne právě položené vlákno nebo zdeformuje stěnu výtisku.
- Zvýšení tuhost osy Z, která i přes úpravu horního uložení šroubu a vodičích tyčí má tendenci kmitat, byť již v podstatně menší míře.



- Zamezit praskání a kroucení větších výtisků z ABS a jiných plastů s velkou tepelnou roztažností. Tomuto jevu lze podle dostupných informací zabránit pouze vhodným odizolováním tiskového prostoru od okolního prostředí. [2]

Potencionální přínosy těchto úprav jsou shrnuty v tabulce (viz **Tab. 5**). K těmto závěrům jsem dospěl po prostudování uživatelských zkušeností s 3D tiskárnami na internetových diskuzích k tomuto tématu. Problematika praskání výtisků je také hodně diskutována na diskuzích pro uživatele tiskárny Rebel [3] a Ultimaker [10].

Tab. 5 Potencionální přínosy úprav se střední prioritou

| Potencionální přínosy úprav se střední prioritou | | | | |
|--------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------|----------------------|
| Typ úpravy | Zlepšení spolehlivosti | Zlepšení kvality tisku | Zlepšení tuhosti | Zlepšení bezpečnosti |
| Napájecí zdroj | Ano | Ano | Ne | Ano |
| Nový extruder | Ano | Výrazně | Ano | Ano |
| Nová osa Z | Ano | Ano | Výrazně | Ano |
| Izolace komory | Ne | Výrazně | Ne | Ano |

Optimalizace napájecího zdroje

Volba zdroje byla provedena podle předpokládaného maximálního možného odběru proudu na napájecí desce RAMPs, pomocí které PLC obvod Arduino Mega 2560 řídí veškeré funkce tiskárny. Jednotlivé zdroje spotřeby elektrické energie na tiskárně i s jejich proudovým odběrem jsou seřazeny do tabulky (viz **Tab. 6**) a poté byl určen minimální příkon proudu napájecího zdroje. K tomuto výpočtu je ještě přidáno 30% pojistné proudové rezervy. Podle výsledné hodnoty byl vybrán vhodný zdroj, který je momentálně na trhu. Původní napájecí zdroj (viz **Obr. 3.4**)





Obr. 3.4: Původní napájecí zdroj

Tab. 6 Odběr proudu tiskárny

| Jednotlivé zdroje odběru proudu 3D tiskárny | | | | |
|---------------------------------------------|------------|-----------|----------|-------|
| Název konponety | Napětí [V] | Proud [A] | Odpor[Ω] | Kusů |
| ZK. Deska M2560 | 7-12 | Až 800mA | ***** | 1 |
| Nema17 | 3 | 1.8 | 1.8 | Až 7 |
| Hotend | 12 | 3.4 | 3.6 | Až 4 |
| Podložka | 12 | 9 | 1.3 | 1 |
| Servo | 5 | Až 1 | 4000 | Až 4 |
| Celkem | Max 12 V | 40A | ***** | ***** |

Z tabulky vyplývá, že při maximální možné konfiguraci zdrojů odebíraného proudu mohou dosáhnout hodnoty až cca 40A. K této hodnotě byla jako pojistka přidána ještě 30% rezerva z hodnoty 40A. Celkově by zdroj měl poskytnout proudový příkon až 52A. Takto dimenzovaný zdroj má dostatečnou rezervu i pro dlouhodobý provoz, což je u 3D tiskáren důležité. Tisky trvají až několik desítek hodin. Také rezerva umožňuje budoucí úpravy tiskárny a přidání dalších spotřebičů. Proto byl vybrán zdroj GYUSPW S60-12V [www.best-force.com]. Parametry zdroje jsou uvedeny v tabulce (viz Tab. 7) Technické údaje pro elektrosoučástky používané v 3D tiskárnách[2][3][5][6]. Nový napájecí zdroj (viz Obr. 3.5).





Obr. 3.5: Nový napájecí zdroj

Tab. 7 Parametry napájecího zdroje

| Parametry napájecího zdroje GYUSPW S600-12V | |
|---------------------------------------------|------------------------------|
| Maximální výkon | 600W |
| Výstupní napětí | DC12V |
| Vstupní napětí | AC 90-140V/196-265V-50/60Hz |
| Výstupní proud | 50A |
| Vstupní proud | 2.8A |
| Pracovní teplota | -30 +50 C° |
| Certifikáty | CE, ROHS, TÜV, SAA, EMC, LVD |

Nová konstrukce extruderu

Úpravy extruderu byly cíleny na tři nedostatky, které znepríjemňují provoz tiskárny, znekválnitňují výtisky a téměř znemožňují vícemateriálový tisk.

1. Konstrukce chladiče a držáku. Chladič díky špatné konstrukci neuchladí dva současně běžící hotendy. Nelze určit podle rozteče děr nastavení ofsetu trysek pro duální tisk. Oba problémy jsou způsobeny nepřesností výroby.
2. Při duálním tisku z neaktivní trysky vytéká roztavený plast a znečišťuje výtisk. Proto bude navržena vhodná úprava, která tomuto jevu zabrání.



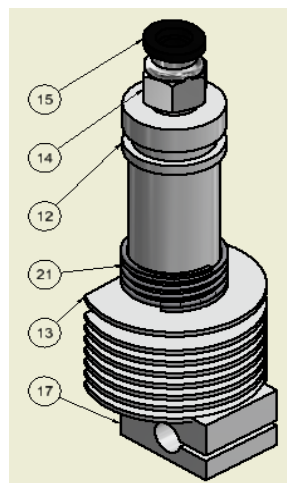
3. Neaktivní tryska i při použití jednoho hotendu poškozuje rytím do právě položené vrstvy výtisk. Proto bude opět navržena vhodná úprava, která tomuto jevu zabrání.

Problematického chlazení a nastavení offsetu trysek.

Řešení spočívá ve výrobě nového extruderu a dodržení výrobních tolerancí. Další dva problémy vyžadují změnu celé stávající konstrukce extruderů.

Zamezení rytí trysek do povrchu výtisku.

Pro vyřešení tohoto problému, je potřeba neaktivní trysku odsunout do dostatečné vzdálenosti od výtisku. Odsouvání trysek používají i profesionální tiskárny. Proto byly navrženy extrudery válcového tvaru, které se zasouvají do držáku z hliníkové slitiny, a pomocí vačkového mechanismu ovládaného modelářským servem, se neaktivní tryska zdvihne do bezpečné vzdálenosti od výtisku. Pro udržení aktivní trysky v pracovní poloze je použita tlačná pružina. Jako chladiče jsou použity žebrované válce z hliníkové slitiny našroubované na tělese extruderu. Chladiče zároveň těleso drží v jeho držáku, hotend je komerčně vyráběný typ. Pro uchycení přívodních bowdenů jsou použity rychlospojky určené pro vzduchové rozvody. Sestava samotného tělesa extruderu (viz. **Obr. 3.6**).



Obr. 3.6: Těleso extruderu

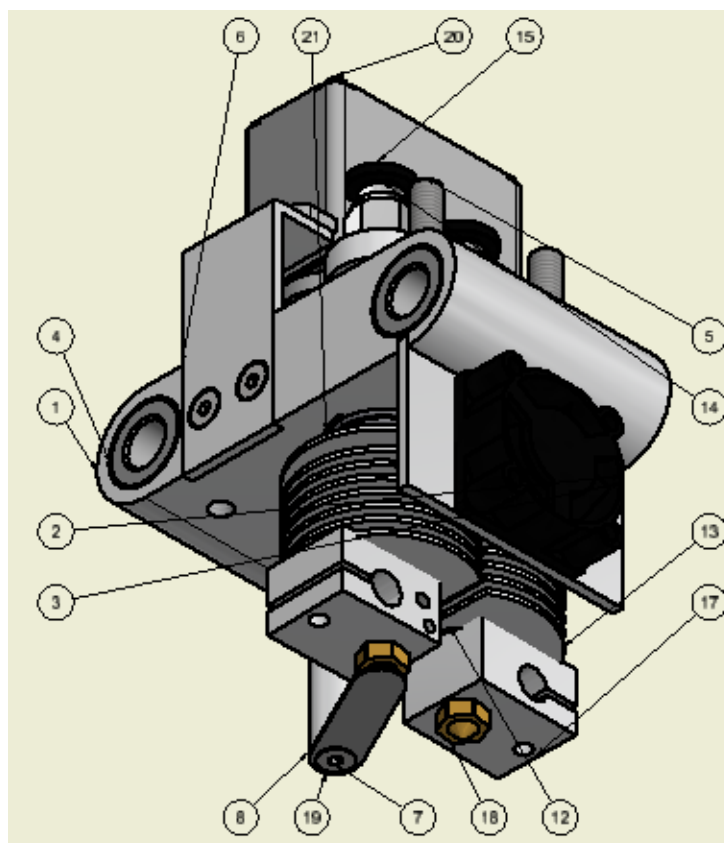
Pozice:(12) těleso extruderu v horní části držka pro vačku (13) chladič hotendu(14,15) rychlospojka bowdenu(17) těleso hotendu(21) vratná pružina



Tato úprava zamezí rytí neaktivní trysky do povrchu výtisku. Výtisk tak přestane být mechanicky poškozován.

Zamezení vytékání taveniny z trysky.

Omezit vytékání taveniny z trysky se u tiskáren typu FFF omezuje takzvanou retrakcí, kdy je filament vtažen zpět do extruderu. Toto řešení, se ale jeví jako málo účinné, protože i když je napětí uvnitř hotendu zatažením filamentu zpět sníženo, tak působením gravitační síly na taveninu v trysce dochází k jejímu vytékání. Tento problém je na novém extruderu vyřešen otočným uzávěrem z plechu, který je ovládán servem zároveň ovládajícím také vačku pro zdvih trysek. Hřídel vačky je použita jako otočný držák uzavíracího plechu. Pokud servo zdvihá těleso extruderu, zároveň uzavírací plech najede přes otvor v trysce a tím zamezí vytékání taveniny a poškozování výtisku. Nový extruder s držákem, který zároveň tvoří vozík osy XY (viz **Obr. 3.7**).



Obr. 3.7:Nový extruder



Pozice:(1) držák extruderů (2) držák ventilátoru (3) ventilátor (4) vodící pouzdro (5) stavěcí šroub (6) držák serva(7) šroub uzávěru trysky (8) hřídel vačky (9) vačka zdvihátka (12) těleso extruderu (13) chladič hotendu (14,15) rychlospojka (17) těleso hotendu (18) tryska (19) uzávěr trysky (20) servo (21) Vratná pružina

Omezení praskání výtisků

K úpravě koncepce tiskové komory bylo rozhodnuto na základě zkušeností uživatelů tiskáren z RepRap komunity, kde je izolace komory jednou z možností, jak zabránit praskání a velkým deformacím výtisků z plastu ABS, který má velkou tepelnou roztažnost. Již pouhé proudění vzduchu v místnosti má negativní vliv na výtisk. Ten se vlivem ochlazení deformuje a dokonce i praská podél vrstev. Tiskárna sice má vyhřívanou podložku, ale ta výtisk ohřívá nerovnoměrně. Kontrolním měřením teploty výtisku během tisku bylo zjištěno, že teplota výtisku 20 mm od podložky zahřáté na 85°C je jen 60°C a 80 mm od podložky pouhých 35°C. Tyto teploty jsou hluboko pod překryštalizační teplotou většiny plastů. Navíc proudění vzduchu kolem výtisku způsobuje ještě větší nerovnoměrnost teploty výtisku. Proto je nutné udržet teplotu výtisku v celém jeho objemu kolem 70°C, což je teplota rekrystalizace ABS. Jedním z možných řešení je komoru zakrýt a tím nevhodnému proudění zabránit. Řešení tohoto problému pomocí vyhřívané komory má patentované firma Stratatys[8]. Pro zamezení praskání bylo použito jako řešení zakrytování tiskové komory. Toto řešení bylo použito pouze k studijním účelům. Tato patentová ochrana letos skončí. Implementace tohoto řešení není u NR802 jednoduchá. Pouhé krytování kolem dokola není možné, protože mnoho součástí tiskárny vystupuje mimo její rám. Mnoho součástí je z PMMA, které si zachovává svoje vlastnosti do 60°C pak měkne a také velmi rychle křehne. Problém je i s krokovými motory. Magnety, které jsou v nich použity, ztrácí se zvyšující se teplotou své magnetické vlastnosti. Problém přináší i jak zamezit proudění kolem tiskového stolu. Proto byly určeny parametry, které musí být dodrženy, a nový rám jim musí být přizpůsoben.

Parametry návrhu nového rámu:

- Vedení, uložení a pohony os nesmí zasahovat vně rámu. Tento parametr je důležitý kvůli snadnému krytování. Jediná výjimka je v horní části, kde je možné použít vhodné víko.



- Tisková komora musí mít uvnitř co nejméně prvků, které zasahují do jejího vnitřního prostoru a takto zmenšují použitelný rozměr tiskové plochy a znesnadňují její krytování.
- Je nutné zachovat původní půdorys tiskárny při zachování rozměru tiskové plochy.
- Veškeré díly z PMMA, které se nacházejí uvnitř tiskové komory, je nutno nahradit odolnějšími.
- Veškeré motory a elektroniku je nutno umístit tak, aby nedocházelo k jejímu ohřívání vlivem vyšší teploty uvnitř tiskové komory.

Podle těchto parametrů byl navržen nový rám a přizpůsobena konstrukce os a jejich lineárního vedení včetně pohonů.

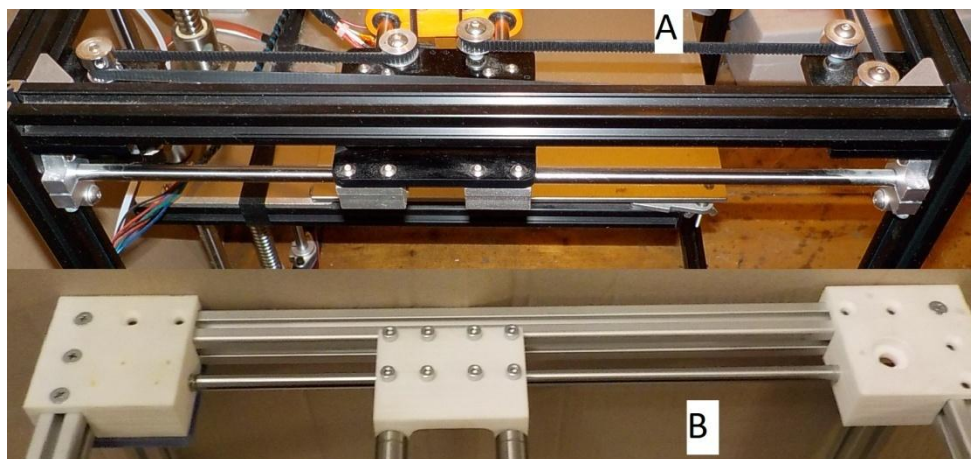
Návrh úpravy rámu

Při úpravě rámu bylo nutné upravit jeho vrchní část tak, aby části mechanismů osy X, Y zůstaly uvnitř a nebránily krytování. A tento identický problém musí být vyřešen i v dolní části, kde zasahují části mechanismu osy Z vně tiskárny, ale i do tiskové komory. Proto bylo nutné každou z těchto částí zabývat se zvlášť.

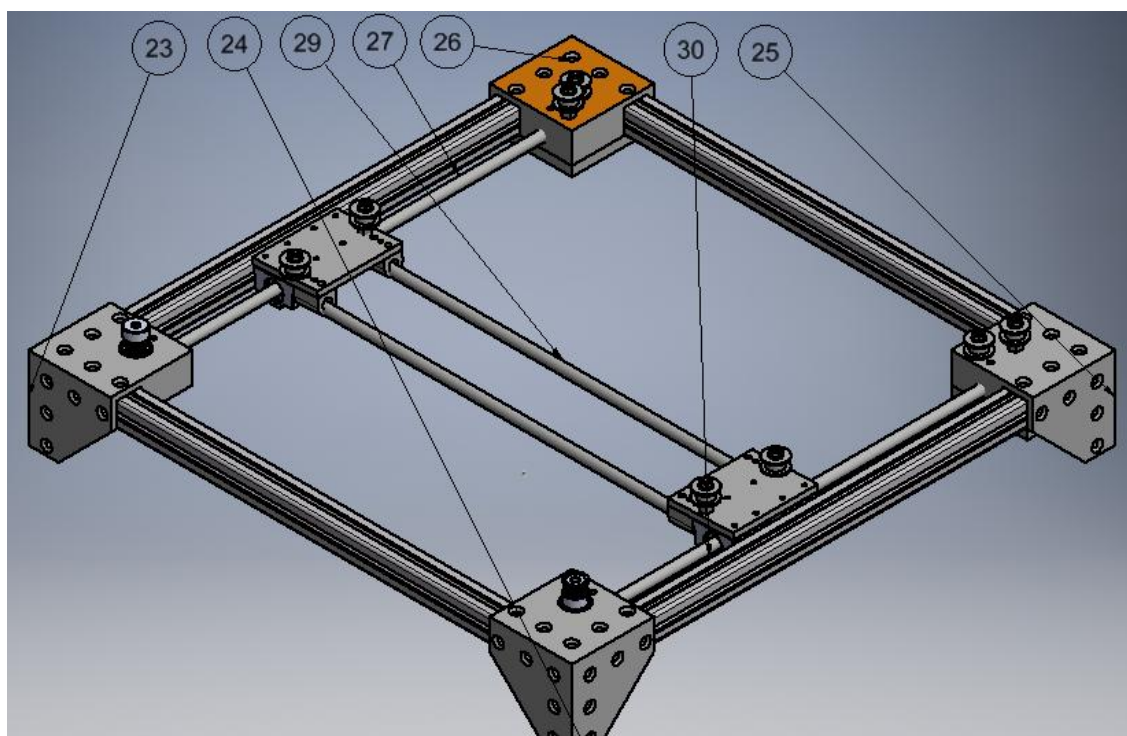
Nové uchycení osy X, Y

Vedení osy Y je kotveno pomocí hliníkových držáků v rámu tiskárny, ale držáky a i lineární vedení přesahují přes vnější obrys tiskárny. Toto uspořádání znemožňuje použít jednoduché krytování přišroubované na rám. Zároveň část osy Y je vyrobena z PMMA, které nelze použít při vyšších teplotách, proto bylo vedení osy upraveno, aby nezasahovalo vně tiskárny a tím nebránilo krytování. Vodící tyče osy Y jsou uchyceny do nově zkonstruovaných domků kladek a řemenic pro pohon os X, Y. Upravené jsou rovněž držáky vodících tyčí osy X. Rozsah pojezdů zůstal stejný jako u původního řešení. Pomocí této úpravy byly součásti os X, Y umístěny uvnitř tiskárny a již nepřekáží krytování tiskárny. Plastové součásti byly vytištěny na původní tiskárně, z plastu ABS, který snáší teplotu 80°C. (viz **Obr. 3.8**) a (viz **Obr. 3.9**).





Obr. 3.8: Vodící tyč osy Y a) původní b) upravené



Obr. 3.9: Domky kladek a řemenic s uchycením vodících tyčí osy Y

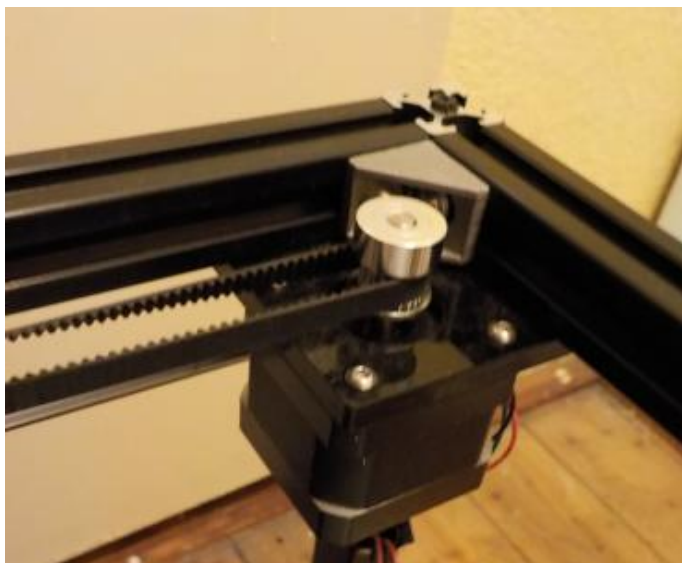
Pozice: (23-26) domky vodících tyčí, (27,30) vodící tyče osy Y, (29) vodící tyč osy X

Koncepce pohonu a použití vodících pouzder s tyčemi nebyla touto úpravou změněna. Krytování lze přichytit zevnitř i vně komory a tím zajistit lepší tepelnou izolaci.



Nové umístění krokových motorů os X, Y

Běžné krokové motory NEMA 17 nemají certifikaci pro práci za vyšších teplot okolí. Proto bylo nutné zajistit, aby se motory nenacházely uvnitř tiskové komory. Původní motory jsou přichyceny k desce PMMA čtvercového průřezu, která je přišroubována do horního rohu tiskárny, zároveň jsou na výstupním hřídeli namontovány řemenice, pro pohon řemenu os X, Y (viz **Obr. 3.10**).



Obr. 3.10: Původní umístění motoru

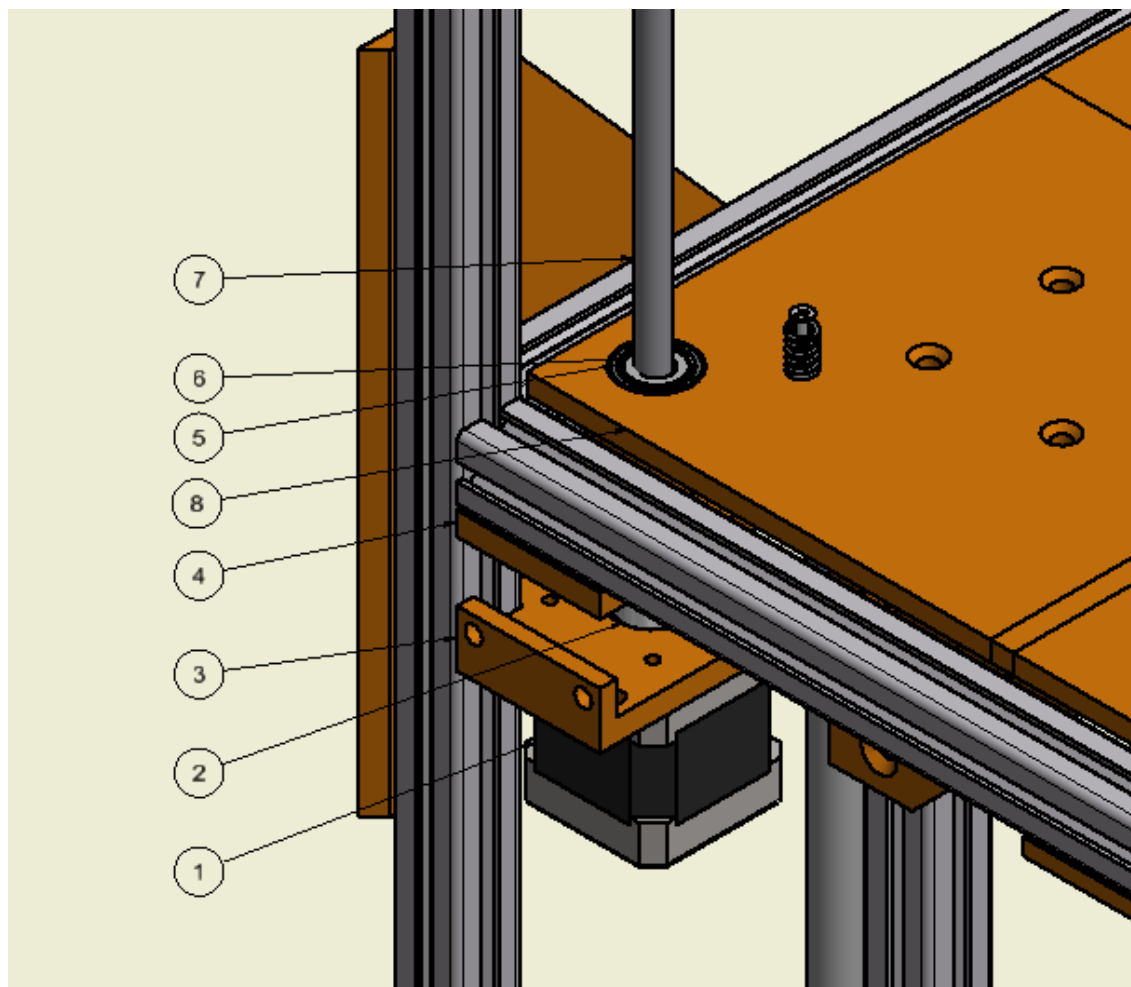
Nově jsou motory umístěny pod tiskovou komoru. Plastové desky PMMA byly nahrazeny domky vytištěnými z ABS. V těchto domcích jsou uloženy ložiska hřídele řemenice a čepy kladek ozubeného řemene. Zároveň domky slouží jako spojovací bod a výztuha konstrukčních profilů rámu. Vytištěné domky hřídelí a čepů (viz **Obr. 3.11**).



Obr. 3.11: Domky řemenic a kladek



Pomocí dvou tyčí průměru 8 mm vedených skrz komoru, uložených ve dvou kuličkových ložiscích, byl zajištěn pohon os X, Y. Pod tiskovou komorou je na rámu přišroubován druhý domek s ložiskem náhonové hřídele/vodící tyče. Samotný motor je umístěn na držák pod domkem ložiska (viz **Obr. 3.12**) a spojen s vodící tyčí flexibilní válcovou spojkou.

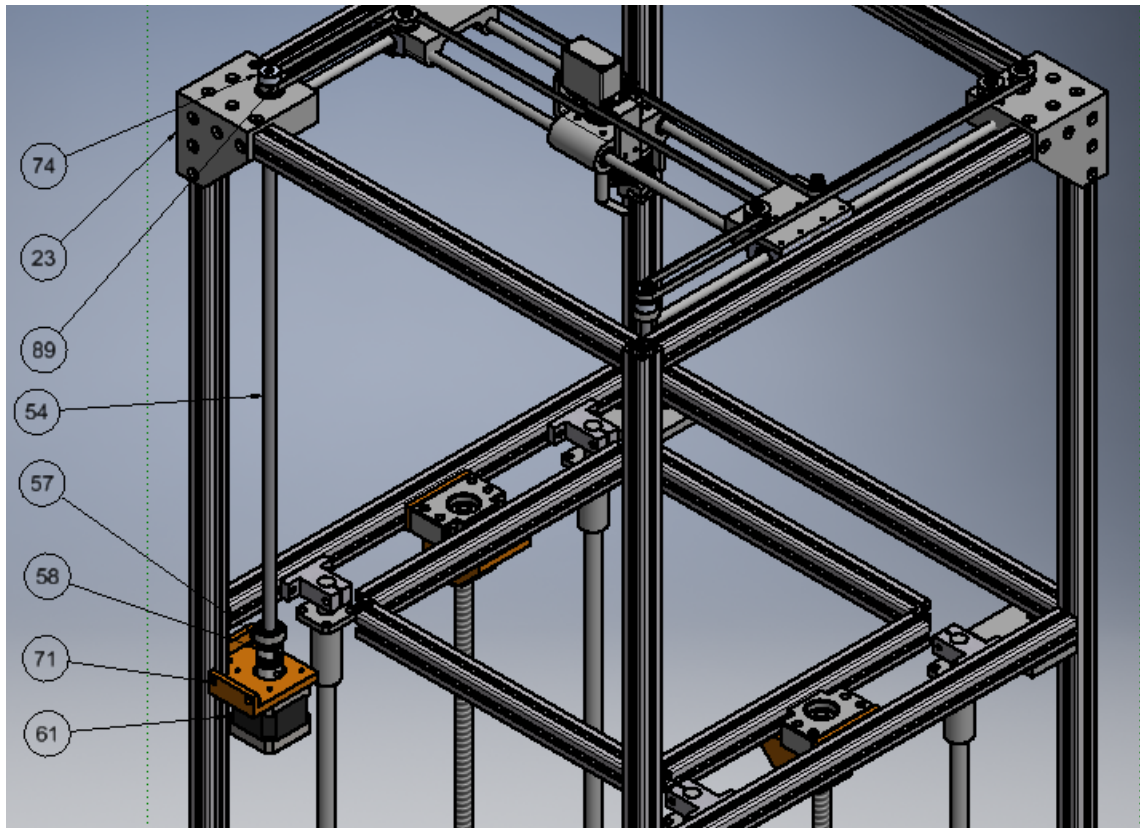


Obr. 3.12: Motor X, Y

Pozice:(1)motor (2)flexi spojka (3)držák motoru (4)držák ložiska pohonné tyče (5)ložisko kuličkové 6702 (6)vodící pouzdro stolu (7) pohonná tyč (8)stůl

Tyto pohonné tyče zároveň slouží jako pomocné lineární vedení stolu tiskárny (viz **Obr. 3.13**). Touto koncepcí budou motory mimo vyhřívaný prostor a zároveň nebrání krytování komory.





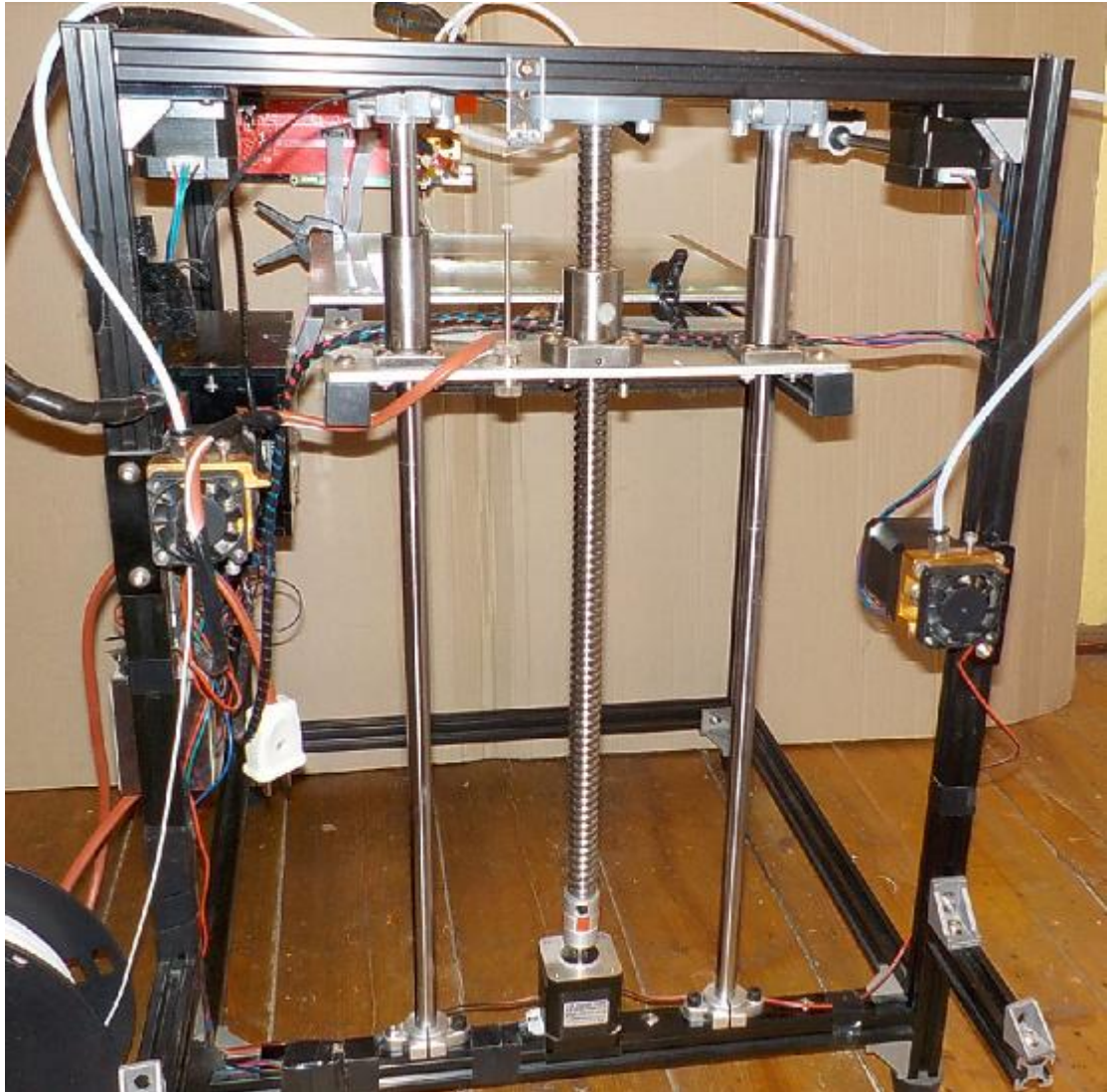
Obr. 3.13: Pohon os X, Y

Pozice: (23) domek ložiska XY (54) pohonná hřídel XY(57) Ložisko 608 (58) válcová flexibilní spojka (61) Nema17 (71) držák motoru (74) řemenice 20GT2 (89) řemen GT2

Zvýšení tuhosti osy Z

Osa Z je u NR802 uchycena pouze z jedné strany rámu tiskárny. Stůl je vysunut do prostoru komory. To řešení nemá odpovídající tuhost a stůl reaguje na vibrace od pohybu vozíku os extruderu. Tyto vibrace se projeví zhoršenou přesností a kvalitou povrchu u výtisků. Původní uspořádání vodících tyčí a šroubu u osy Z (viz **Obr. 3.14**). Jedním z řešení je na osu Z přidat další vedení. Proto bylo u osy Z navrženo vedení po obou stranách rámu tiskárny, toto řešení zabrání původně volnému konci stolu kmitat. Původní vedení a šroub také zasahuje do tiskového prostoru a tím jej zmenšuje, a to přesto, že vnější rozměry tiskárny jsou poměrně velké.

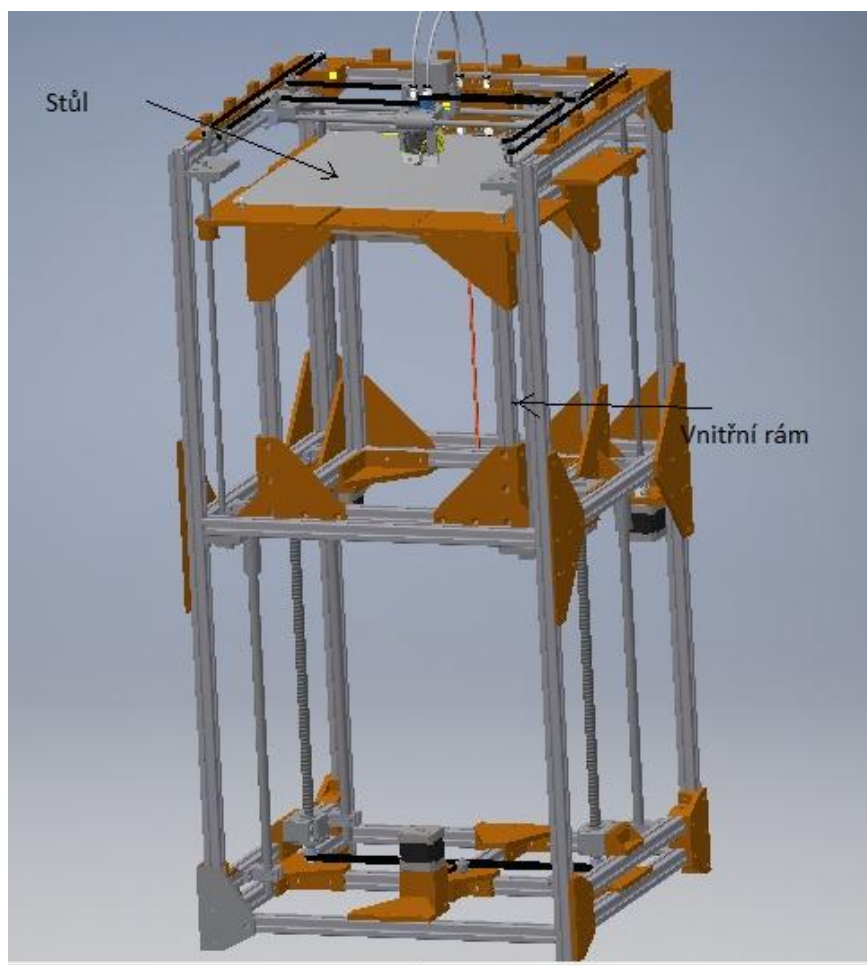




Obr. 3.14: Původní osa Z

Mechanismus osy Z je umístěn v tiskové komoře, což opět znemožňuje její jednoduché krytování. Stůl je umístěn částečně mimo pojezd extruderu, a tak nevyužívá plný rozsah pohybu osy X, Y. Tyto problémy byly vyřešeny návrhem stolu, který se zdvihá pomocí příhradového rámu pohybujícího se uvnitř rámu tiskárny. Tento rám je tvořen z konstrukčního profilu 20x20 mm, stejně jako rám vnější. Spojen je plastovými výztuhami v dolní části i horní. Tyto výztuky mají v rozích umístěna pouzdra pro vodící tyče. V dolní části rámu osy Z byla umístěna čtyři kuličková pouzdra pro vodící tyče o průměru 12 mm. V horní části byla také do rohů stolu vložena čtyři kuličková pouzdra pro vodící tyče o průměru 8 mm. (viz **Obr. 3.15**).

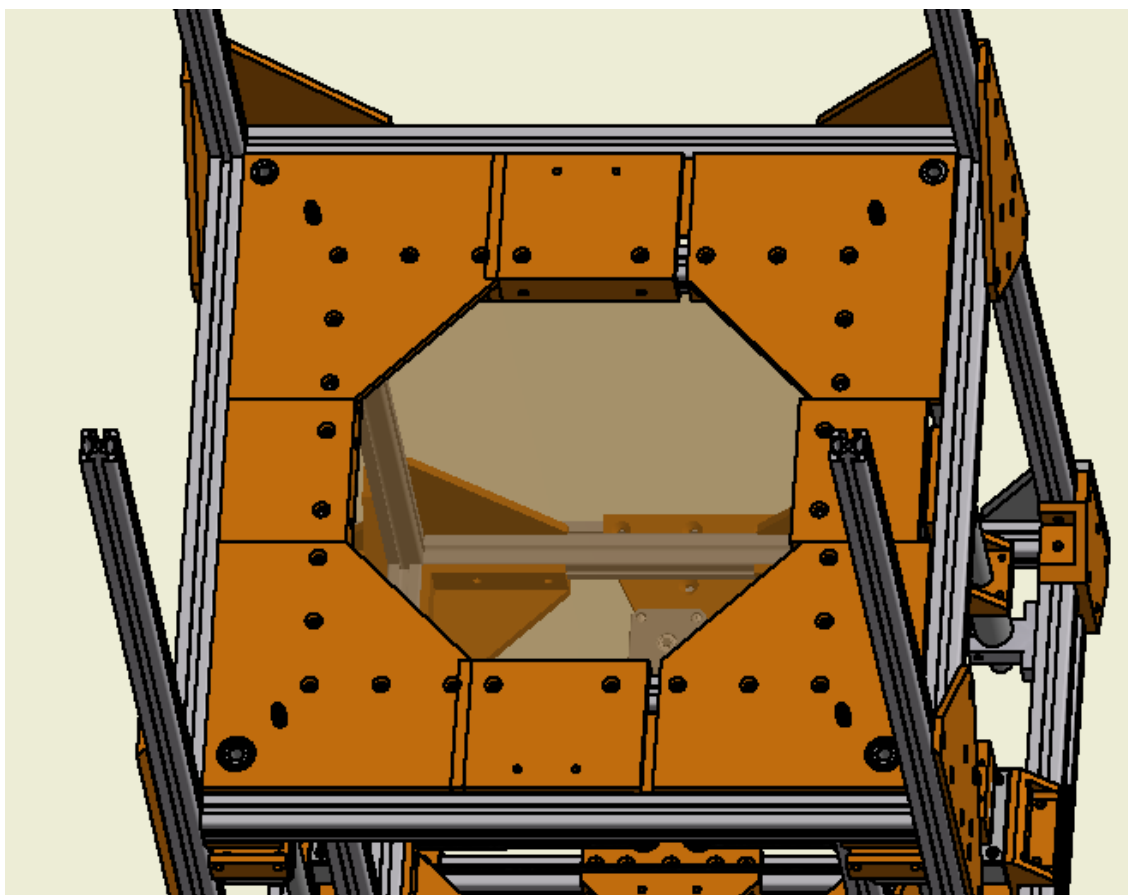




Obr. 3.15: Vnitřní rám stolu osa Z

Dvě z těchto horních vedení využívají tyče pohonu osy X, Y, a protože výrobci vodících kuličkových pouzder nedoporučují jejich rotaci na vodící tyči, byla tato dvě pouzdra ve stole zabudována do kuličkových ložisek. Tím byl tento problém eliminován. Zbývá dvě pouzdra byla do rohových dílů stolu nalisována. Samotný stůl byl vytvořen segmenty vytištěné z ABS, čtyři rohové segmenty v sobě mají domek pro vodící pouzdro (viz **Obr. 3.16**).





Obr. 3.16: Segmenty stolu

Na tento stůl byla namontována tisková deska z hliníkového plechu tloušťky 4 mm. Deska má zespodu nalepenou silikonovou folii o topném výkonu 350 W. Stůl se seřizuje pomocí čtyř šroubů s tlačnými pružinami a drážkovanými maticemi. Čtyřbodové seřizování eliminuje původní nevyhovující tříbodové.

Zdvihání stolu zajišťují dva kuličkové šrouby o průměru 12 mm, se stoupáním 4 mm. Oba šrouby jsou uloženy v konzolách s kuličkovými ložisky. V dolní části konzole axiálně radiální BK10, v horní části BF10. Kompletní šrouby s uložením a vedením (viz **Obr. 3.17**).





Obr. 3.17: Uložení šroubů s vedením stolu

Jejich pohon byl řešen přes řemenový převod jedním krokovým motorem. Na spodních zakončeních šroubu a motoru jsou nasazeny řemenice pro ozubený řemen GT2 s 20 zuby. Krokový motor je umístěn na profilu mezi oběma šrouby a přes vodící kladky je ozubeným řemenem propojen s oběma šrouby. Napínání řemene bylo zajištěno pomocí držáku motoru, který lze po povolení čtyřech šroubů volně posouvat po konstrukčním profilu. Použití řemenového převodu má několik výhod, oproti použití dvou samostatných motorů.

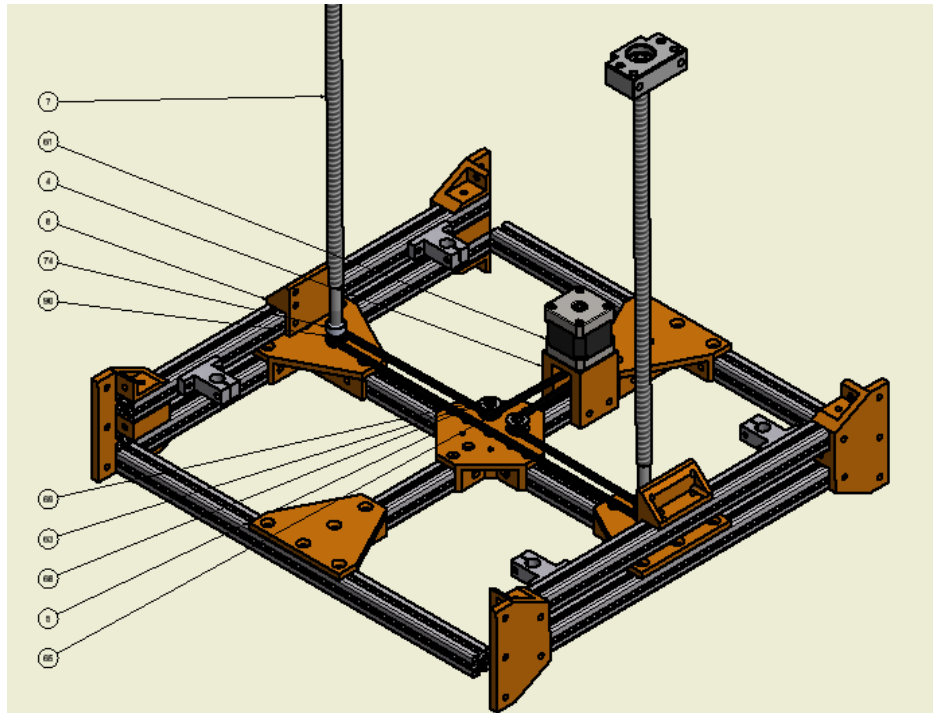
Výhody řešení s jedním motorem.:

- Otáčení šroubů je dokonale synchronizováno (žádný ze dvou stejných motorů nemá stejně velký krok [2])
- Úspora jednoho motoru



- Úspora energie
- Žádné axiální namáhání hřídele motoru

Výhody pohonu šroubů řemenem a společným motorem jsou tedy zřejmé. Pohon šroubů osy Z (viz **Obr. 3.18**).



Obr. 3.18: Pohon osy Z

Pozice:(4)držák motoru (5)výztuha (7)kuličkový šroub (8)držák konzole BK10 (61)krokový motor (63)kladka (65)hřídel kladky (68)podložka (69)matice M4. (74)řemenice (90)řemen

Navržené řešení osy Z jako vnitřní rám má řadu výhod.

- Stůl využívá maximálního rozsahu pojezdu osy X, Y.
- Kuličkové šrouby, jejich uložení a jejich pohon je umístěn mimo komoru tím nezmenšuje vnitřní prostor komory. Šrouby s vedením a motorem nejsou vystaveny teplu v komoře.
- Použití celkem osmi kuličkových vodících pouzder celkově zvýšilo tuhost stolu a jeho odolnost vůči vibracím.
- Stůl přesně kopíruje vnitřní stěny komory a tím je dobře izolován od vnějšího prostředí
- Tisková plocha je uchycena na čtyřech stavěcích šroubech a díky dobrému přístupu není problém s jejím seřízením.
- Koncepce umožňuje dvojitě krytování, které lepe izoluje komoru.

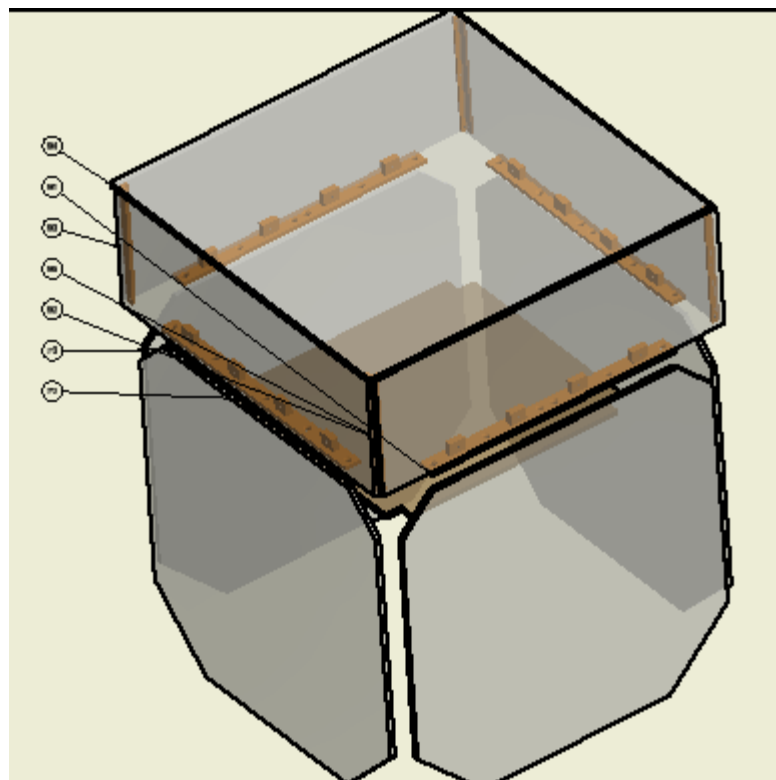


- Komora má vždy jen výšku aktuální k výšce rozpracovaného modelu.
- Nevýhodou je nutnost použít pomocného horního vedení.

Krytování komory

Samotné krytování tiskové komory bylo navrženo s polykarbonátových desek Makrolon což je známý dutinový polykarbonát. Na boční stěny byla použita vždy vnitřní a vnější deska. Vrchní část je zakryta víkem také z Makrolonu. Díky nové konstrukci stolu a osy Z stůl těsně kopíruje při pohybu vnitřní krycí desky. Díky tomu se nevyhřívá celý pracovní prostor, ale pouze ta část prostoru na ose Z, která je používána.

Čelní kryt je odnímatelný kvůli přístupu k výtisku. Boční kryty a víko jsou přišroubované na pevně. Boční krytování je z Makrolonu o tloušťce 6 mm. V rámu jej drží plastové segmenty zasunuté do drážky v konstrukčním profilu rámu. Desky jsou se segmenty sešroubovány vruty se zápusťnou hlavou. Víko je tvořeno pěti deskami spojenými plastovými lištami vytištěnými z ABS. Samotný stůl je uprostřed překryt deskou makrolonu. Kryty komory (viz **Obr. 3.19**: Krytování komory)



Obr. 3.19: Krytování komory

Pozice:(72)spodní kryt stolu (73)boční kryty komory (91)lišta víka krytu (92)spojovací lišta víka (93)boční panel víka (94)vrchní panel víka (95)spojovací lišta



3.2.3 Úpravy s nízkou prioritou

Tyto úpravy byly ponechány na konec, protože neohrožovaly přímo provoz tiskárny.

Body úprav s nízkou prioritou:

- Obtížně seřiditelná tisková plocha.
- Chybně řešené čepy (osy) kladek pohonného řemene os X, Y.
- Proskakující podavač filamentu.
- Chybně umístěný box s elektronikou.

Potencionální přínosy úprav s nízkou prioritou (viz **Tab. 8**).

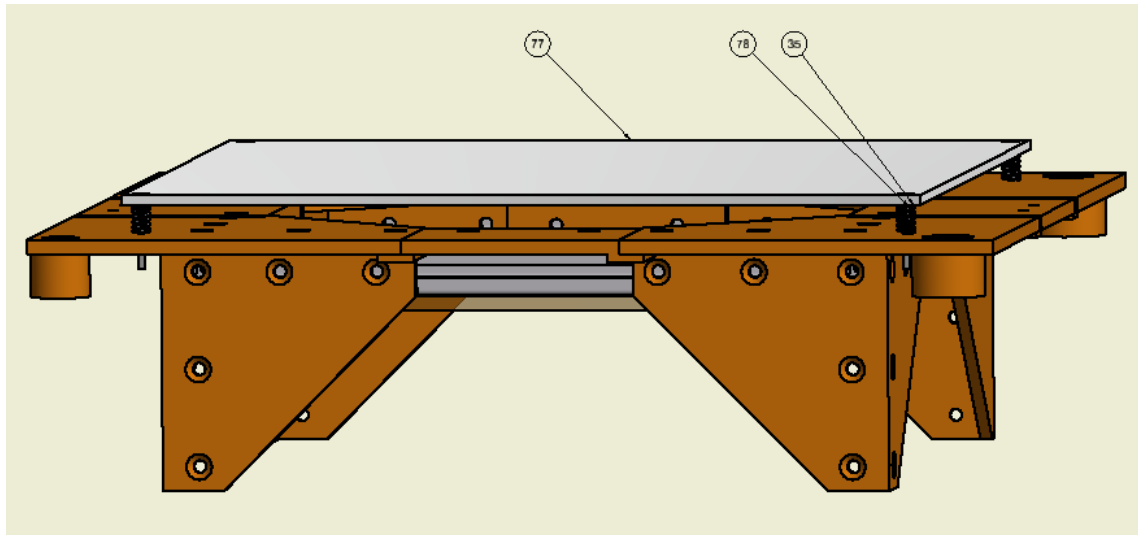
Tab. 8 Potencionální přínosy úprav s nízkou prioritou

| Potencionální přínosy úprav s nízkou prioritou | | | | |
|------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------|----------------------|
| Typ úpravy | Zlepšení spolehlivosti | Zlepšení kvality tisku | Zlepšení tuhosti | Zlepšení bezpečnosti |
| Čtyřbodové seřizování desky | Ano | Ano | Ano | Ano |
| Nové čepy vodicích kladek | Ano | Ano | Ne | Ano |
| Nový podavač | Ano | Ano | Ne | Ano |
| Pozice E-BOXU | Ano | Ano | Ne | Ano |

Obtížně seřiditelná tisková plocha

Tiskovou plochu u NR802 tvoří hliníkový plech tloušťky 4 mm. Tento plech je ke stolu připevněné pomocí tří šroubů a jeho vzdálenost od stolu regulují tlačné vinuté pružiny. Na konci šroubů jsou křídlové matice pro seřizování vzdálenosti tiskové plochy od trysky. Tříbodové uspořádání není vhodné kvůli vzájemné závislosti bodů mezi sebou. Proto RepRap komunita doporučuje čtyřbodový [2] systém, který je sice také závislý na upevňovací bodec mezi sebou, ale podstatně méně citlivý. Proto byla nová tisková deska připevněna ke stolu shodným způsobem šrouby a pružinami, ale na čtyřech bodech (viz **Obr. 2.1**).





Obr. 3.20: Uložení tiskové desky

Pozice: (35)tlačná pružina (77) tisková deska (78) šroub M3x40

Tato úprava zajistí rychlé seřizování vzdálenosti desky od trysky.

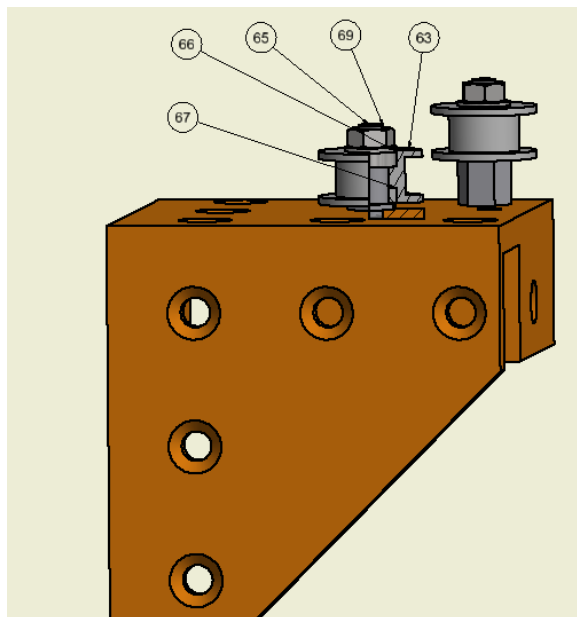
Chybně řešené čepy vodících kladek

Čepy vodících kladek u původní tiskárny NR802 tvoří šrouby M4 se závitem po celé délce (viz **Obr. 3.21**). Odsazení od desky, ve které jsou uchyceny, zajišťuje kus plastové trubky vhodné délky. Samotná kladka má kuličková ložiska shodného průměru a je navlečena na zmíněný šroub. Mezi ložiskem a šroubem je tedy značná vůle a kladka se otáčí většinou na vnitřním kroužku ložiska. Takto uchycené kladky se mají tendenci zadírat, vydávají nepříjemný hluk a jsou zdrojem kovových pilin z jejich otírání. Proto byla navržena jednoduchá úprava. Původní čepy ze šroubů byly nahrazeny vysoustruženými čepy s ocelové šestihranné tyče s přesným osazením na ložisko. V samotné kladce bylo jedno z ložisek vyměněno za ložisko se shodnými rozměry vnějšího kroužku, ale s vnitřním kroužkem průměru 5mm. Kladka je navlečena na čep a stažena maticí M4. Toto řešení je naprosto vyhovující. Upravené uložení vodících kladek (viz **Obr. 3.22**).



Obr. 3.21: Původní uložení kladek





Obr. 3.22: Upravené uložení kladek

Pozice:(63) kladka (65) hřídel kladky (66) ložisko 625 (67)ložisko MR95 (69) matice M4

Proskakující podavač filamentu

NR802 disponuje tzv. bowdenovým systémem podávání filamentu. Tento systém má značnou řadu výhod oproti podavačům umístěným přímo nad extruderem.

Výhody:

- Podstatně lehčí extruder z toho vyplývající menší setrvačné momenty při pohybu vozíku os Y, X.
- Při použití vyhřívané komory krokový motor podavače je mimo prostředí se zvýšenou teplotou.
- Filament má vedení v bowdenu a nehrozí jeho zlomení

Nevýhody:

- Vyšší tlakové napětí filamentu mezi podavačem a tryskou hotendu lze eliminovat retrakcí
- Vyšší pasivní odpor filamentu v bowdenu.

Je tedy zřejmé, že výhody převažují nad nevýhodami. Díky dobrému vedení filamentu se dnes již vyskytují pro tyto extrudery trysky s průměrem 0.15 mm, díky nimž lze



dosáhnout vyššího rozlišení tiskárny a s tím i spojené přesnosti. U NR802 se objevuje problém, že filament, který klade větší odpor, má tendenci prokluzovat na podávacím kole podavače. Proto byl navržen podavač se dvěma podávacími koly. Jako inspirace posloužil komerčně prodáváný čínský podavač Sanjiu [10][9].

Konstrukce podavače

Původní podavač se skládal ze dvou hliníkových odlitků, ke kterým je přišroubován krokový motor s deskou PMMA sloužící jako držák celého podavače. Jako podávací kolo je použito ozubené kolo o průměru 12 mm, ke kterému kuličkové ložisko přitlačovalo filament. Ozubené kolo není profilované a při použití většího přitlaku zplošťuje filament a přestává zabírat. S tímto typem podavače jsou použitelné trysky do průměru díry 0.5 mm a větším. Při menším průměru než 0.5 mm již není schopen filament protlačit. Po prostudování některých diskuzí RepRap komunity na toto téma podavače Sanjiu[10]. Byly vyvozeny jeho nevýhody.

Nevýhody podavače Sanjiu:

- Vyšší cena.
- Složitý systém převodů, nutnost použít ozubená kola.
- Složitý systém přitlačování filamentu k podávacímu kolu.
- Absence vnitřního vedení filamentu

Proto byla navržena jinak řešená konstrukce, která má také dvě podávací kola. Jako výchozí body pro konstrukci byly nastaveny tyto parametry.

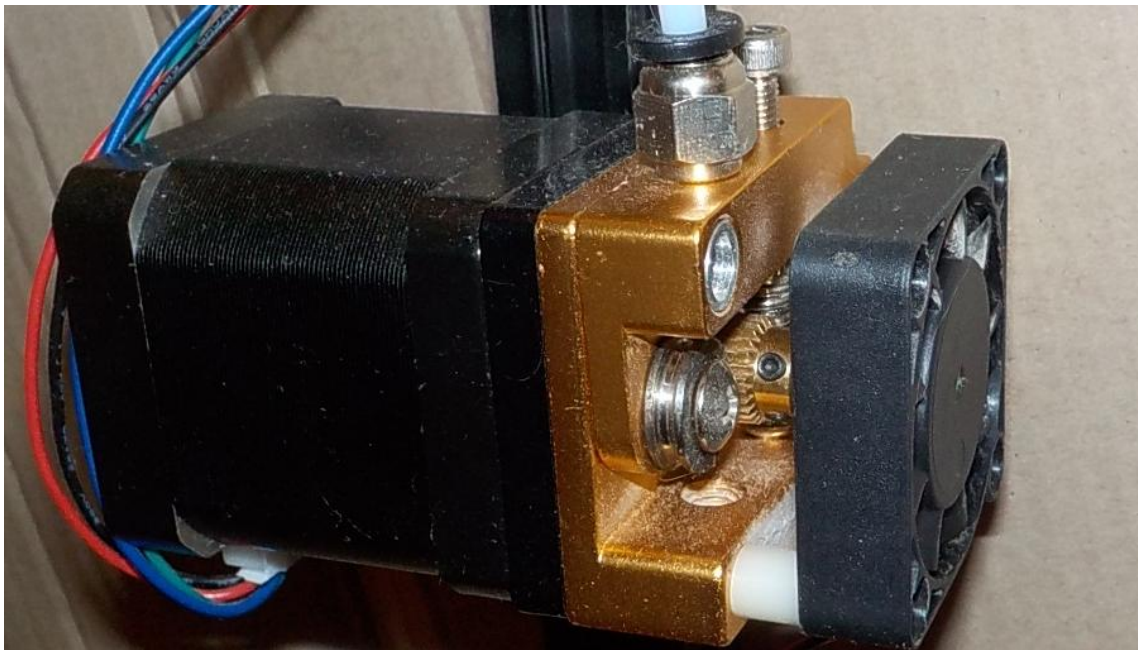
Parametry pro konstrukci podavače:

- Použít co nejvíce komerčně prodáváných součástí (ložiska, hřídele řemenice ozubená kola).
- Součásti, které nelze nakoupit pokud možno vyrobit na 3D tiskárně.
- Pokud možno vyhnout se ozubeným kolům a osazeným hřídelům
- Podávací kola musí být profilovaná pro lepší záběr filamentu
- Filament musí mít vedení i uvnitř podavače

Podle těchto nastavených parametrů byl navržen nový podavač. Podavač se skládá, ze dvou plastových výtisků, které tvoří skříň, Pohon kol obstarává ozubený řemen a



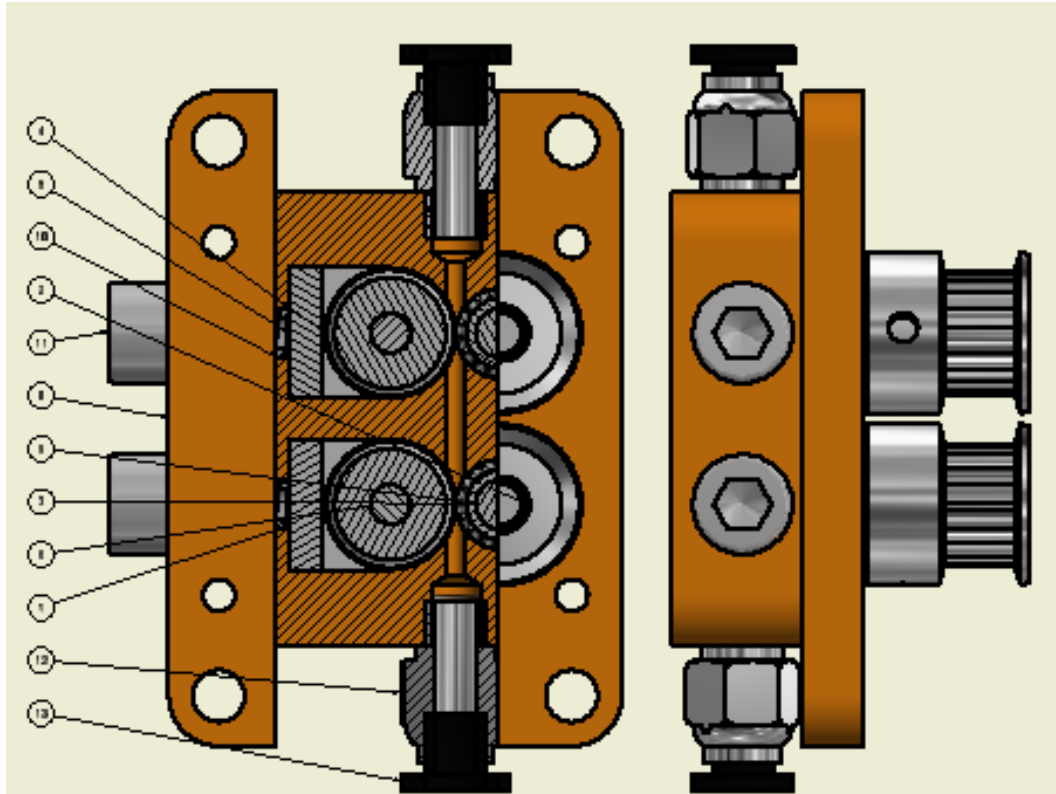
řemenice s 20 zuby. Podávací kolo je běžně komerčně prodáváný typ s drážkou. Hřídel je uložen ve dvou kuličkových ložiscích. Samotná hřídel má konstantní průměr 5mm a je vyrobena z nerezového drátu. Přítlačné kladky jsou opět komerčně prodáváná ložiska s drážkou a jejich držák je vytištěn z ABS plastu. Pro přítlačení slouží tlačná pružina nastavitelná šroubem M6. Pneumatické rychlospojky slouží k propojení podavače se zásobníkem filamentu a s extruderem. Pro pohon slouží krokový motor Nema 17 8401. Původní podavač (viz **Obr. 3.23**).



Obr. 3.23: Původní podavač filamentu

Nové podavače byly umístěny přímo do tiskové komory. Pohon podavačů díky použití řemenů zůstává vně komory. Takto byla zkrácena délka bowdenů na minimum, Zkrácením bowdenů dochází ke snížení napětí filamentu v extruderu. Nový podavač (viz **Obr. 3.24**).

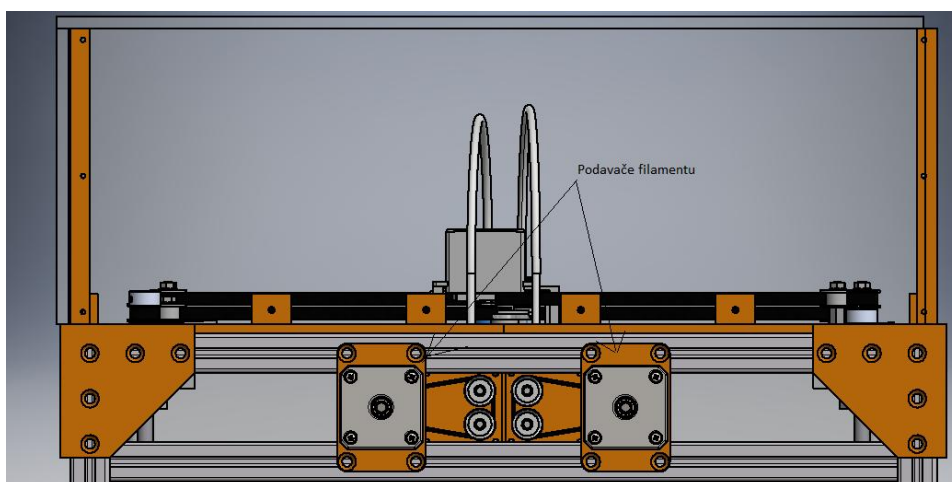




Obr. 3.24: Podavač filamentu

Pozice:(1)skříň (2)řemenice GT2 20zubů (3)podávací kolo (4)přítlačné ložisko (5)držák ložiska (6)čep ložiska (7)ložisko MR95 (8)kryt skříně (9)hřídel řemenice (10)Tlačná pružina (11)šroub M6x10 (12,13) rychlospojka

Podavač je s krokovým motorem spojen pomocí ozubeného řemene. Motor byl upevněn na desce vytištěné z ABS, a byla i s motorem přišroubována vně rámu. Podavače přišroubované na tiskárnu (viz **Obr. 3.25**)

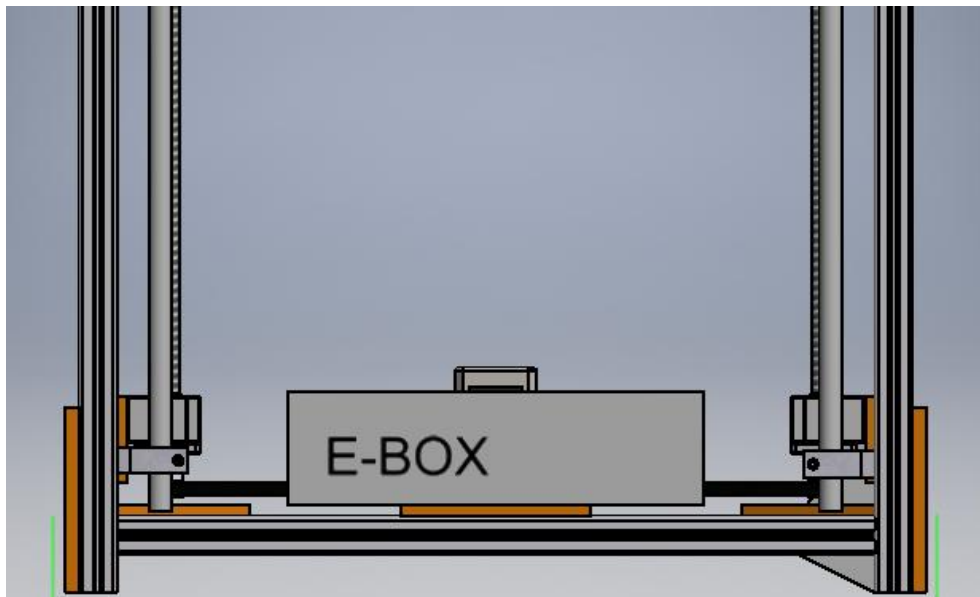


Obr. 3.25: Krokové motory podavače filamentu



Umístění boxu s elektronikou

Box s elektronikou byl nově umístěn v dolní části tiskárny. Proud chladícího vzduchu od ventilátoru boxu směřuje teď ven z rámu. Takto umístěný ventilátor již zbytečně neochlazuje vyhřívanou podložku tiskárny. Box je vytištěný z plastu. Byl do něj zabudován napájecí zdroj a řídicí elektronika. Umístění (viz **Obr. 3.26**)



Obr. 3.26: Nové umístění E-BOXU

3.3 Zkušební testování provedených úprav

Protože nebyly realizovány ještě všechny úpravy. Nebylo možné provést veškeré testy. Zatím byly provedeny veškeré nutné úpravy původní NR802. Kde bylo otestováno:

- Úprava hotendu
- Upravené horní uložení osy Z
- Nový napájecí zdroj
- Nový vozík osy X, Y
- Nově umístěný box s elektronikou

Zbylé úpravy jsou ve fázi realizace. Důvod zdržení je především pozdní dodání některých komponent od čínských dodavatelů a také vysoké vytížení dílny pro obrábění kovů.

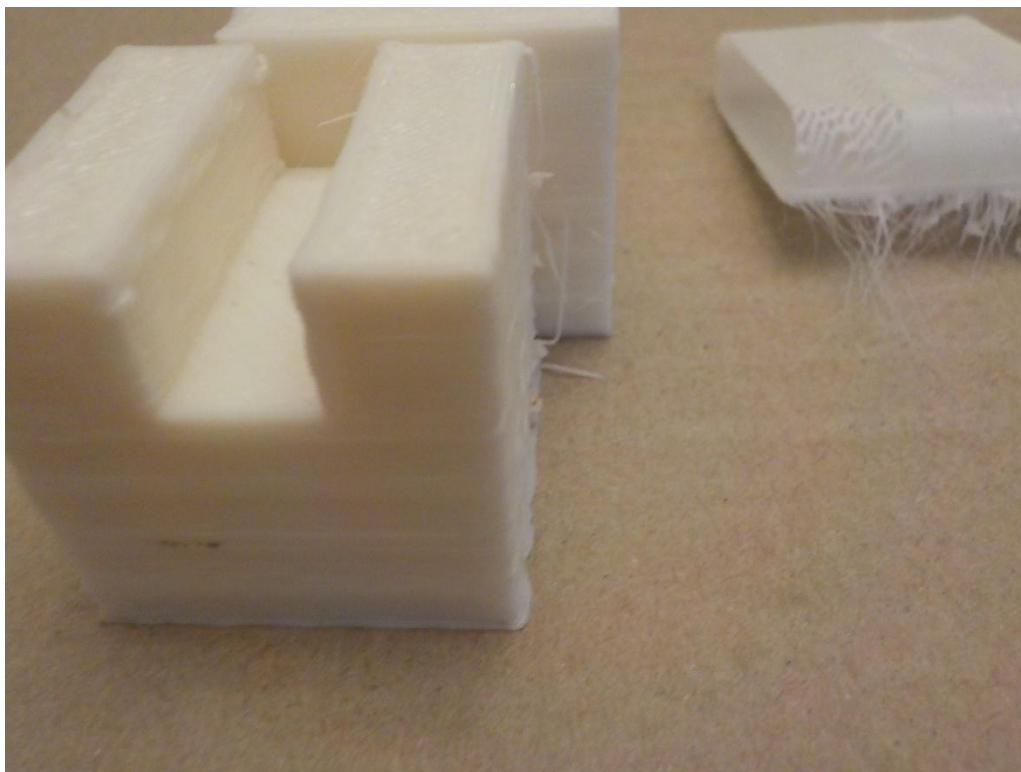


Testování upraveného hotendu

Pro testování byly použity různé typy tři typy plastů ABS, PLA A PETG. Testovací teploty byly 190-260°C. Test probíhal dlouhodobě a během nich bylo spotřebováno 3 kg plastů od každého typu 1kg. Za celou dobu se tryska ani jednou neucpala a přechod mezi jednotlivými plasty byl bezproblémový. Hotend ani po několika hodinách provozu nejeví známky úniku roztaveného plastu.

Testování upraveného uložení osy Z

Pro testování byly zvoleny dva objekty. První krychle o rozměrech 30x30x30 mm a dutý ovál o vnějších rozměrech 30x30x10. Krychle je vyplněna z 20%, ovál je dutý se silou stěny 0.5 mm. Výška vrstvy byla nastavena na 0.3 mm. Testy proběhly s tryskou o průměru 0.5 mm. Testovací objekt vytištěný před úpravou osy Z (viz **Obr. 3.27**). Testovací objekt vytištěný po úpravě osy Z (viz **Obr. 3.28**).



Obr. 3.27: Testovací objekty vytištěné před úpravou osy Z



Obr. 3.28: Testovací objekty vytištěné po úpravě osy Z

Testování nového vozíku osy X, Y

Tiskárna s upraveným vozíkem, spotřebovala již více než 4kg materiálu. Vozík se jeví jako velmi stabilní. Nebyl zaznamenán žádný problém s praskáním nebo kroucením použitého materiálu. Na vozík působí teplo unikající od hotendu přesto i když je vytištěn z plastu ABS nedošlo k žádné poruše. To potvrzuje vhodnost ABS i pro aplikace kde je zvýšena teplota okolí. Také pevnost materiálu je zcela vyhovující, bez problémů snáší nalisování vodících pouzder, aniž by popraskal.

Nové umístění E-boxu

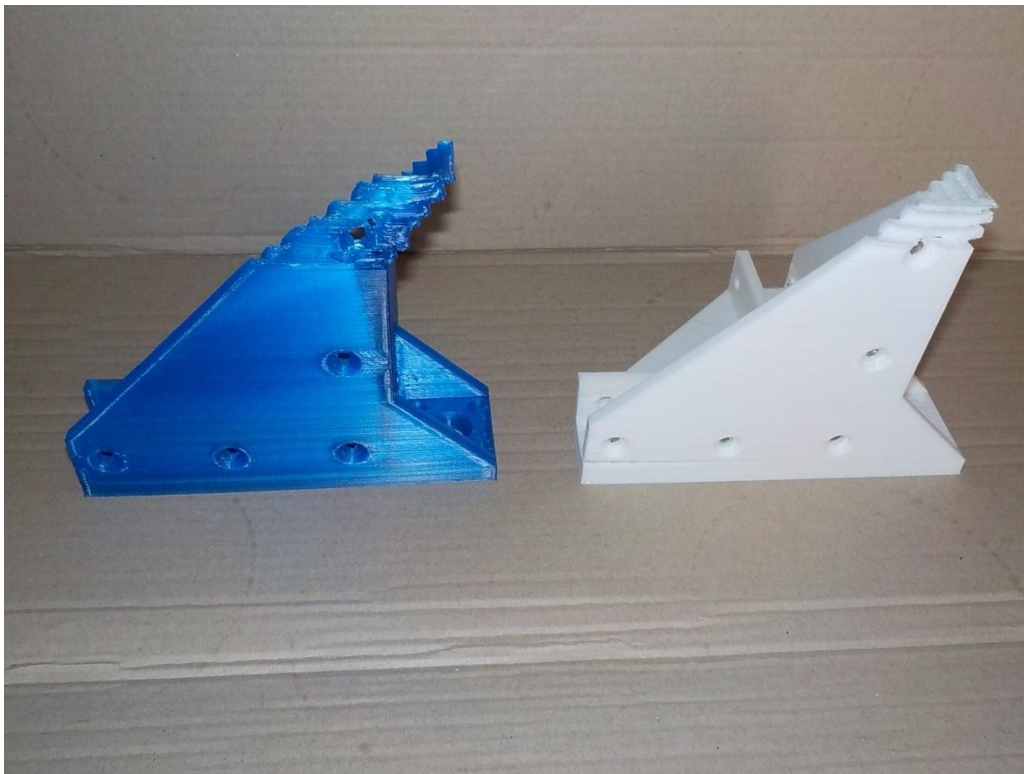
Box umístěný ve spodní části tiskárny přestal ochlazovat vyhřívanou tiskovou plochu. Tato úprava se projevila jako rychlejší ohřev desky na provozní teplotu.

Nový napájecí zdroj

Testování zdroje proběhlo během výroby tištěných dílů na upravenou tiskárnu. Tyto tisky probíhaly několik hodin v kuse. Starý zdroj po 60 minutách tisku byl silně zahřátý. Také se několikrát stalo, že se tisk úplně zastavil nebo krokové motory začaly nekontrolovaně škubat. Dalším projevem poddimenzovaného napájecího zdroje byl



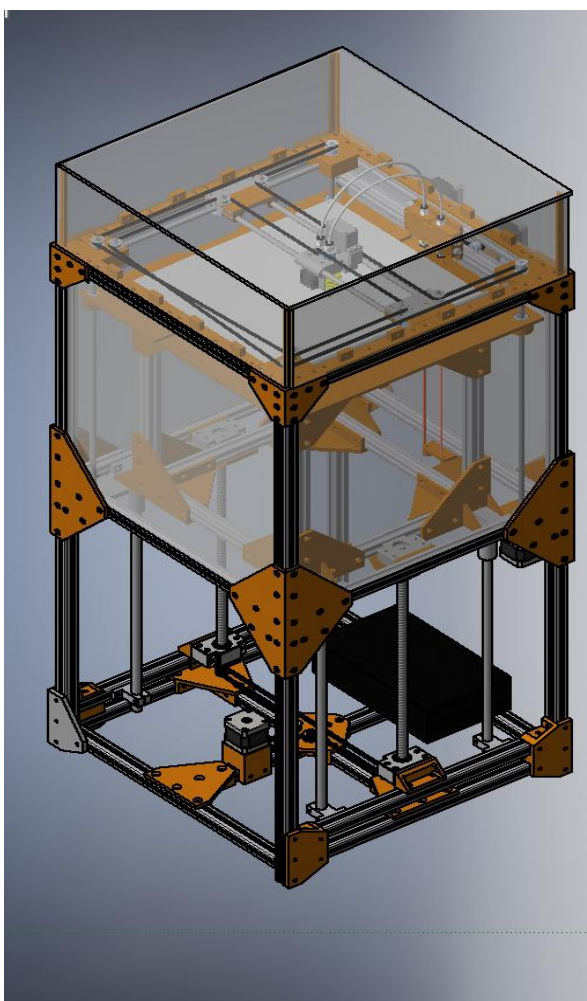
posun referenčních bodů při tisku (viz **Obr. 3.29**). Rovněž po namontování nového zdroje dochází k celkově rychlejšímu zahřátí tiskárny. Nový zdroj i po hodinách tisku zůstává pouze mírně ohřátý a defekty způsobené posunutím referenčních bodů se již neopakují.



Obr. 3.29: Nepovedený tisk výztuhy

4 Závěr

Všechny úpravy ještě nejsou zrealizovány, ale ty které jsem měl možnost testovat, ukázaly jasný posun ke spolehlivosti i zvýšené kvalitě tisku. Tyto realizované úpravy potvrdily zkušenosti členů RepRap komunity z FFF 3D tiskárnami. Také to že FFF tiskárny nejsou zbytečné hračky, ale lze na nich při poměrně nízkých nákladech vyrábět různé prototypy strojů a dělat opravy stávajících zařízení. Umožňují široké veřejnosti přístup k 3D tisku a určitě mají stále potenciál do budoucna. FFF tiskárny mají jednoduchou obsluhu, údržbu, neznečišťují okolí prachem, nemají problematickou manipulaci se spotřebním materiálem, což je předurčuje k většímu rozšíření. Nová tiskárna je hotova z 80%. Návrhy, které jsou na ní realizovány, mají velký potenciál uspět. Pokud se tyto potenciální přínosy po dokončení potvrdí, bude to pro mě velký úspěch. 3D model upravené tiskárny (viz **Obr. 4.1**).

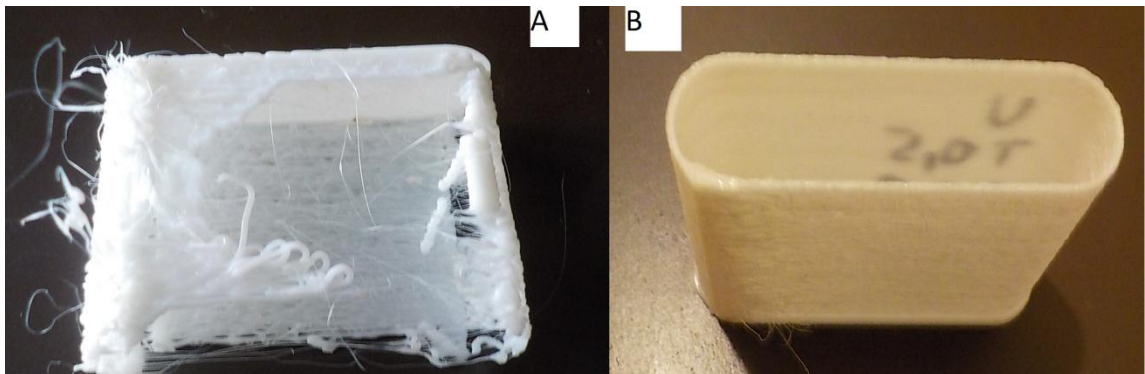


Obr. 4.1: 3D model upravené tiskárny



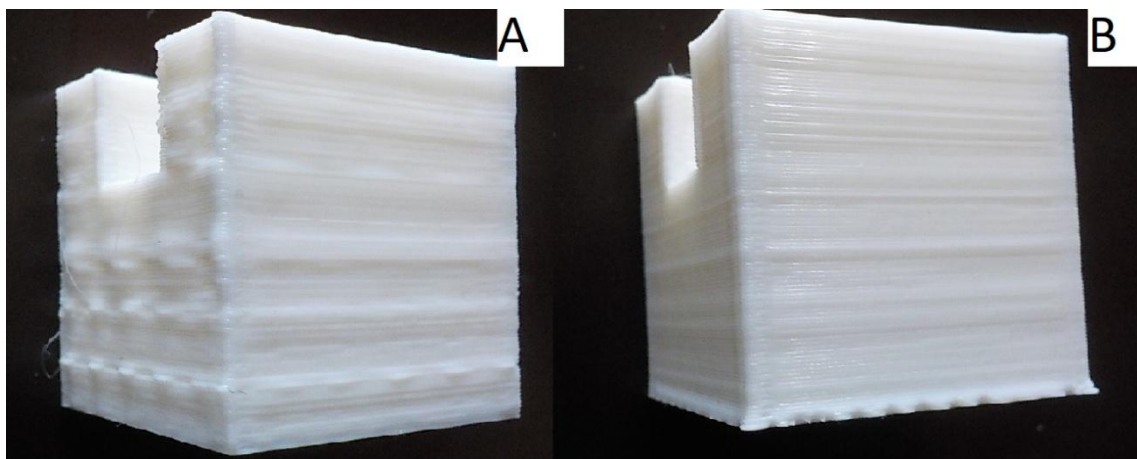
Dosažené cíle

Cíle nastavené v úvodu se podařilo splnit. Původní tiskárna z téměř nefunkčního stroje po sestavení, tiskne součásti na stroj nový a to bez větších problémů. Upravená původní NR802 již vytiskla všechny součásti pro nový stroj a má za sebou desítky hodin tisku. Cíl získat spolehlivý stroj byl splněn. Upravené uložení osy Z také splnilo očekávání. S upravenou osou Z lze vytisknout objekt s tloušťkou stěny 0.5 mm, kde stěnu tvoří pouhý jeden perimetr.(viz **Obr. 4.2**).



Obr. 4.2: Zkušební tisk a) před úpravou b) po úpravě

Také kvalita tisku stoupla, před úpravou byly výtisky zvlněné, po úpravě jsou stěny výtisků rovné (viz **Obr. 4.3**).

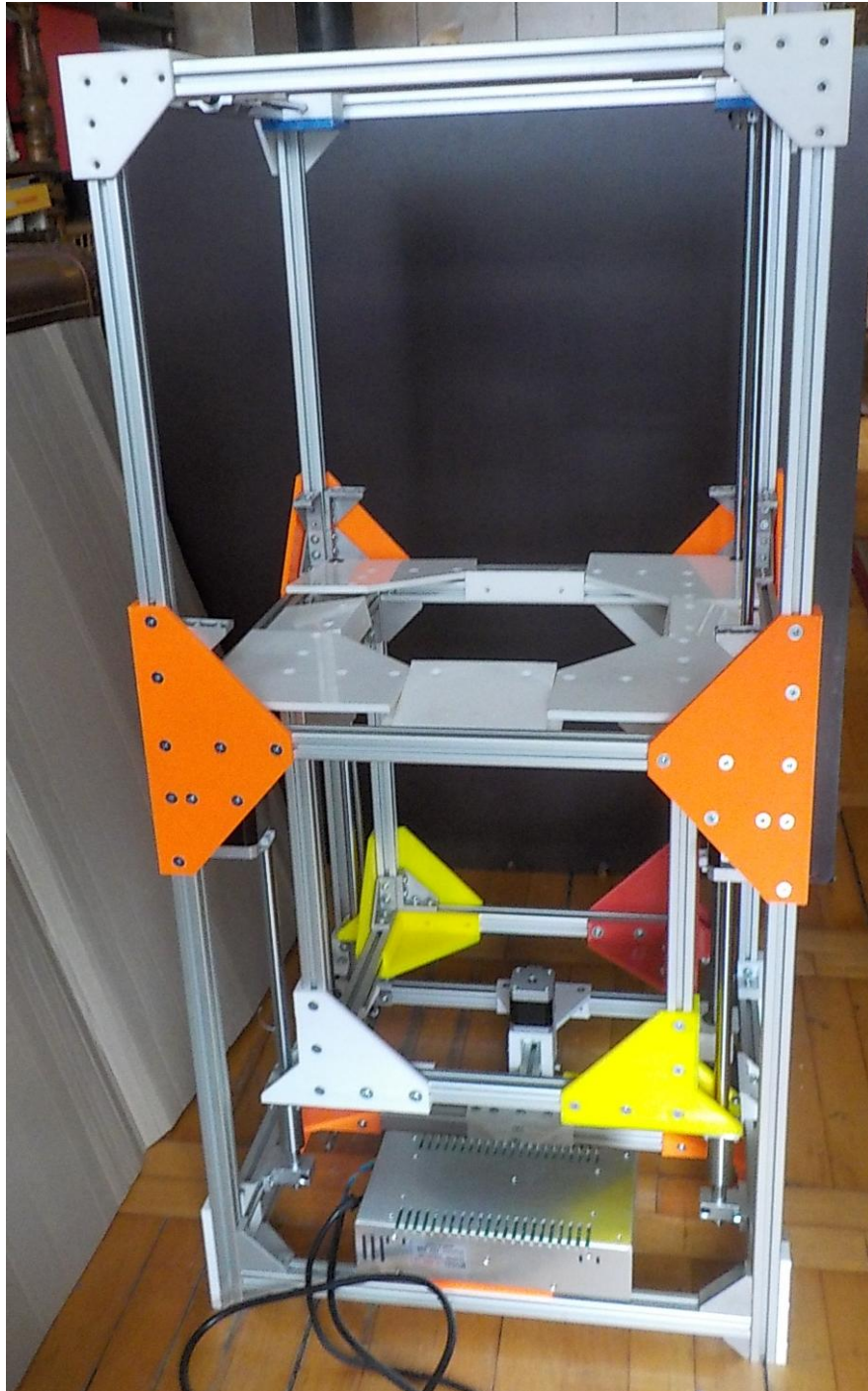


Obr. 4.3: Zkušební tisk a) před úpravou b) po úpravě

Cíl zlepšit kvalitu výtisků byl tedy také dosažen. Také zvýšení tuhosti bylo dosaženo, jako důkaz tohoto tvrzení je opět srovnání testovacích modelů před a po úpravách, kdy viditelně menší zvlnění stěn testovací krychle svědčí o podstatném zmírnění kmitání stolu tiskárny. Cíl zvýšit tuhost byl také splněn. Posledním cíl zvýšení



životnosti bylo také dosaženo, upravený hotend při tisku dílů na novou tiskárnu se již neucpává. Nový vozík hotendu ani po desítkách hodin práce nejeví známky poškození. Cíl zlepšit stávající konstrukci i spolehlivost byl tedy splněn. Na závěr ještě fotografie rozestavěné nové tiskárny, kde očekávám ještě lepších výsledků tisku. Nová tiskárna (viz **Obr. 4.4**).



Obr. 4.4: Rozpracovaná nová tiskárna



Použitá literatura

- [1] https://shop.prusa3d.com/498-thickbox_default/impresora-3d-original-prusa-i3-mk3.jpg
- [2] <http://forums.reprap.org/index.php?321>
- [3] <http://www.rebelove.org/portal.php>
- [4] <https://www.aliexpress.com/snapshot/0.html?spm=a2g0s.9042647.6.2.6b2b4c4davM2Z3&orderId=82626268692155&productId=32784395203>
- [5] https://www.aliexpress.com/store/product/Free-Shipping-1pcs-Stepper-Motor-4-lead-Nema17-48mm-1-8a-Nema-17-motor-42BYGH-1/614951_32804808687.html?spm=2114.12010612.0.0.2b8d267bOnRBeR
- [6] www.best-force.com
- [7] http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4
- [8] <http://www.stratasys.com>
- [9] https://www.aliexpress.com/store/product/SANJIUPrinter-Newest-Feeder-For-UM2-Ultimaker-2-Extended-Dual-Wheel-Aluminum-Alloy-Work-Quiet-and-Stable/2334209_32797317368.html?spm=2114.12010612.0.0.4b3b7345CcGbV5
- [10] <https://community.ultimaker.com/files>
- [11] http://www.reprap.org/mediawiki/images/a/a7/CoreXY_principle.png



Přílohy

A 3D CAD modely Upravené tiskárny

Vzhledem k rozsahu, je tato příloha v elektronické podobě na přiloženém CD.

B Fotografie původní Tiskárny NR802 Fotografie ze stavby upravené tiskárny

Vzhledem k rozsahu, je tato příloha v elektronické podobě na přiloženém CD

C Fotografie zkušebních výtisků

